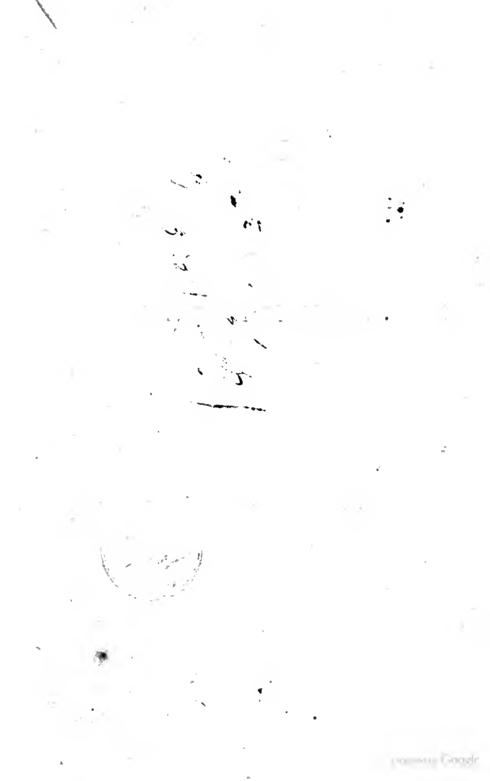


# LE NOUVEAU MANOEUVRIER.



# LE NOUVEAU MANOEUVRIER

OU

# ÉLÉMENS

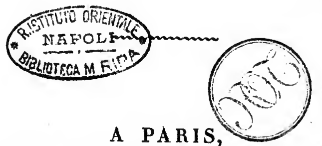
## THÉORIQUES ET PRATIQUES

DE LA

## MANOEUVRE DES VAISSEAUX.

PAR P. H. SUZANNE,

Ancien Professeur à l'Ecole de marine de Toulon, Professeur de mathématiques au Lycée Charlemagne à Paris, membre de la société d'émulation du département du Var, et de l'académie de Lyon.




A PARIS,

CHEZ CHARLES BARROIS, LIBRAIRE, PLACE DU CARROUSEL, N.° 26.

1809.

*On trouve chez le même libraire :*

Tables des Logarithmes, pour les sinus et les tangentes de toutes les minutes du quart du cercle, et pour tous les nombres naturels, depuis 1 jusqu'à 21,609; par DE LA CAILLE, DE LALANDE et MARIE, avec une exposition abrégée de l'usage de ces tables, in-8.°

## OBSERVATIONS GÉNÉRALES

*Sur les moyens de former des manœuvriers, des tacticiens, et de fonder notre marine sur des bases durables (*).*

L'ART de la manœuvre est fondé, comme tous les arts, sur une théorie de laquelle découlent les règles ou méthodes pratiques qui le constituent. Lorsque ces règles sont en petit nombre et d'une exécution simple et facile, il suffit de les confier à la mémoire, et de les y graver profondément par un exercice fréquent.

Mais si ces règles deviennent très-nombreuses, susceptibles d'une infinité de combinaisons et de modifications; si leur application en est délicate et difficultueuse; si enfin de leur emploi bien entendu dépend la vie ou la fortune des hommes, et quelquefois même le destin des

(*) Nous n'avons dû ici qu'indiquer les objets les plus saillans. Mais, pour mieux faire entendre nos vues et tâcher de les rendre plus utiles, nous nous réservons de les développer avec les détails nécessaires dans un ouvrage particulier dont nous nous occupons.

États : alors ce seroit la dernière des imprudences de s'en tenir à la simple connoissance de ces règles ; de se reposer sur la mémoire, la plus fragile de nos facultés, du soin de nous diriger, et de négliger un guide bien plus sûr, le raisonnement.

Alors l'étude de la théorie devient indispensable, parce que c'est dans les principes seuls qu'on peut trouver l'esprit des règles, et qu'on peut puiser cette sagacité qui sait approprier celles-ci aux circonstances, sans jamais rien donner au hazard.

Or s'il est un art profond dans sa théorie, compliqué dans ses applications, et qui exige de la sagacité et de la profondeur d'esprit, c'est celui par lequel l'homme a osé se confier à une frêle machine, et seul, au milieu des plus redoutables élémens, a eu la hardiesse de lutter avec de foibles moyens contre leurs efforts impétueux.

En vain voudroit-on se borner aux maximes et aux règles générales qu'on peut déduire de la théorie. Ces maximes et ces règles ne seront jamais bien senties que par celui qui en connoîtra les principes, et dont l'esprit, exercé à la méditation et à l'observation, saura les modifier suivant les circonstances et en faire une heureuse combinaison.

Le routinier ne fait jamais que ce qu'il a vu faire; et si malheureusement il est surpris par un accident dont il n'ait jamais été le témoin, il périra avant d'avoir trouvé le moyen d'écarter le danger.

Ceux qui ont intérêt à nier la nécessité des connoissances théoriques, répètent sans cesse que la marine anglaise est très-peu instruite dans la théorie.

Mais cette assertion est fausse; et ne le fût-elle pas, encore ne pourroit-on point en conclure que la même méthode fût applicable à la marine française.

Les bons ouvrages théoriques qu'on a faits en Angleterre; les prix extraordinaires proposés pour la solution du problème de la détermination de la longitude en mer, les établissemens d'instruction qu'on y a formés pour les jeunes gens destinés à naviguer, et les maîtres qu'il y a à bord des vaisseaux, sont des preuves irrévocables de l'importance que les Anglais mettent à la théorie, et démontrent évidemment combien ils sentent la nécessité d'éclairer la pratique par la connoissance des principes.

Il n'y auroit qu'un seul cas où le manœuvrier pourroit n'avoir pas besoin de connoître la théorie de son art : c'est celui où il auroit eu l'avantage infiniment rare de naviguer long-tems sur

différentes mers et sur divers vaisseaux, avec des hommes très-instruits et très-habiles qui auroient eu l'occasion de mettre en pratique toutes les ressources de l'art. Encore faudroit-il supposer qu'il eût assez d'intelligence pour appliquer leur méthode à des cas absolument semblables, et pour y faire les modifications que souvent les circonstances exigent.

Si les Anglais, quoique continuellement en mer, ne dédaignent pas les connoissances théoriques, combien ces connoissances deviennent indispensables pour les marins français, souvent privés des conseils de l'expérience, presque toujours forcés d'interrompre leurs voyages, et qui par conséquent ont besoin de devenir manœuvriers dans un très-petit nombre de campagnes! C'est alors surtout que la théorie devient nécessaire pour éclairer et étendre la pratique, pour faire éviter des manœuvres dangereuses, et apprendre à modifier subitement les règles, suivant les circonstances imprévues où souvent on se trouve.

Il est fort étonnant que ces vérités, qui sont de la dernière évidence, soient encore contestées par des hommes de bonne foi. Mais, sans nous arrêter plus long-tems à vouloir établir une vérité reconnue par tous les gens éclairés, nous marcherons droit au but, en cherchant

les moyens de donner aux jeunes marins les connoissances et l'expérience dont ils ont besoin pour devenir bons manœuvriers.

L'art de la manœuvre a pour objet d'employer l'action du vent sur les voiles et celle de l'eau sur le gouvernail, soit pour diriger le vaisseau suivant une route donnée et lui imprimer la plus grande vitesse possible, soit pour changer à volonté cette direction, soit pour diminuer la violence des lames contre le vaisseau, éviter l'inondation, et prévenir avec autant de vigilance que d'habileté les dangers auxquels exposent les efforts terribles de l'eau et du vent. Plus les moyens que l'on a sont bornés, moins il faut en diminuer le nombre, et mieux on doit les combiner pour en obtenir les plus grands effets possibles.

La connoissance des causes de tous les mouvemens du vaisseau, les modifications qu'apportent à ces causes la forme de la carène, la distribution intérieure des poids dont le vaisseau est chargé; la position des mâts, leur nombre, leur hauteur, l'étendue et la forme des voiles; enfin l'état de la mer, la force et la direction du vent; les moyens qu'a le navire pour résister à l'action continue de ces deux élémens, doivent donc être l'objet des premières études de celui qui est destiné à conduire

au milieu des eaux la plus belle machine sortie des mains de l'homme.

Ce ne seroit point assez d'étudier les qualités de son vaisseau quand on seroit en pleine mer. Il est de la plus haute importance de prévoir, pour ainsi dire, son caractère, afin de le modifier, lorsqu'il en est tems encore, par un arrimage convenable, par des changemens à la mâture ou aux voiles, ou enfin par d'autres moyens qu'on ne peut employer que dans les ports, ou même encore pour le conduire avec certaines précautions sans lesquelles on courroit souvent les plus grands dangers.

Les premières études que doit faire le manœuvrier doivent donc être celles qui peuvent l'amener à la théorie de son art, et à l'appréciation des causes de tous les mouvemens du vaisseau soumis à l'action de l'eau et du vent.

Les élémens d'arithmétique et d'algèbre, ceux de géométrie et de mécanique deviennent donc pour lui des connoissances préliminaires indispensables. L'application de ces sciences à la construction et à la manœuvre doit ensuite le préparer à une exécution prévoyante, sage et féconde, et la vue des travaux qui se font dans les ports achever de lui faire connoître toutes les parties du vaisseau, ainsi que les causes qui peuvent contribuer à donner à ce dernier plus de solidité et de durée.

Il devient donc de la dernière importance que, dans les ports militaires, il y ait encore un professeur chargé d'enseigner les principes de mécanique, et l'application de ces principes à la construction et à la manœuvre des vaisseaux. Cette partie délicate, difficile et qui embrasse une immensité d'objets, mérite bien qu'un professeur en soit spécialement chargé, et qu'il s'y livre presque exclusivement.

Quand on réfléchit aux difficultés que présente la théorie de la manœuvre, et à son influence sur le perfectionnement de la marine, on a lieu de s'étonner qu'on se contente de donner aux élèves des connoissances sur le pilotage, sans songer à la partie la plus difficultueuse de la science maritime; et qu'on admette les aspirans au grade d'enseigne, sans exiger d'eux qu'ils aient au moins les premiers principes de l'art de la manœuvre.

L'ancien gouvernement, en exigeant que les gardes de la marine seroient examinés sur la mécanique des solides et des fluides, en avoit senti le besoin. Mais dans le cours de la révolution, où l'on a cru que nos marins alloient tous devenir des *Jean-Bart*, on a attaché moins d'importance à la théorie, et on a réduit les examens aux élémens d'arithmétique, de géométrie, de statique et de pilotage.

Exiger peu de connoissances pour celui de tous les services publics qui en demande le plus, c'est l'encombrer d'une foule de sujets médiocres (*), et renoncer à la plus urgente des réformes.

Voyez quels résultats avantageux a produits la sévérité des concours pour l'admission à l'école polythecnique et dans la plupart des services publics. Les sujets distingués dont on a peuplé les corps du génie, de l'artillerie, des ponts et chaussées et des mines, sont donc une garantie de ceux que donneroit à la marine un semblable concours.

La trop grande liberté dont jouissent dans les ports les jeunes aspirans de marine, nuit beaucoup à leur instruction et fait perdre à la plupart d'entr'eux l'habitude du travail et le goût des connoissances.

(*) Je n'entends parler ici que du trop grand nombre d'aspirans de seconde classe, qui étant parvenus à répondre passablement sur les premiers principes d'arithmétique, se trouvent ensuite dans l'impuissance de satisfaire à l'examen des aspirans de première classe. Je dois dire ici, à la louange de ces derniers, que la plupart d'entr'eux ont de la capacité, et montrent pour s'instruire un zèle à l'épreuve des contrariétés et des dégoûts que l'ignorance voudroit leur susciter. Je ne doute pas que ces jeunes gens, encouragés, et surtout bien dirigés, ne deviennent un jour les plus fermes appuis de notre marine, et ne contribuent puissamment à la relever.

On obvieroit aux funestes résultats de leur oisiveté en les casernant comme autrefois, et en les assujétissant à des heures d'étude régulières sous la direction et la surveillance d'officiers instruits. Les momens de loisir que leur laisseroit l'étude des sciences exactes, pourroient être employés utilement à l'étude du gréement, à l'exercice du canonnage et à l'examen des méthodes usitées dans les ateliers des arsenaux.

Si on trouvoit quelques inconvéniens à ce casernement, inconvéniens qui existent même à bord des vaisseaux, il faudroit au moins exiger des aspirans qu'ils suivissent successivement les divers travaux des arsenaux, dont ils décriroient et démontreroient les procédés. Tels sont en peu de mots et à peu près les moyens qu'il y auroit à prendre pour assurer aux jeunes aspirans une instruction solide, et les préparer à devenir observateurs éclairés et praticiens habiles.

Mais si la théorie découvre au manœuvrier l'esprit des règles; si elle lui apprend à les combiner et à les adapter aux circonstances, et si elle lui tient lieu de flambeau au milieu de l'obscurité qui souvent l'environne, la pratique familiarise avec les règles, en rend l'application plus prompte, fait découvrir des cir-

constances imprévues, tient l'esprit dans une activité continuelle, le force à penser, à combiner, agrandit ses vues, développe ses facultés par l'usage, et lui communique une énergie toujours nouvelle.

Des navigations lointaines, des observations soigneusement faites sur tous les mouvemens du vaisseau, la recherche des causes de ces mouvemens et des particularités auxquelles chaque vaisseau donne lieu : voilà comment on peut parvenir à manœuvrer avec intelligence, adresse et promptitude ; comment on peut développer les bonnes qualités d'un vaisseau, affoiblir les mauvaises, et obtenir enfin, avec peu de moyens, de très-grands résultats.

On a cru long-tems, et cette opinion est encore assez répandue, qu'il falloit commencer à naviguer très-jeune.

On est tombé dans cette erreur, parce qu'on a compté pour rien la théorie, ou parce que n'apercevant de l'art de la marine que la partie matérielle, on a confondu le manœuvrier avec le matelot, et qu'on s'est imaginé que ce n'étoit que dans le premier âge que l'on pouvoit s'accoutumer à la vie pénible de marin, et acquérir cette adresse et cette agilité de corps dont le besoin frappe les yeux les plus grossiers.

Mais s'il faut des bras et des machines pour

exécuter les manœuvres, il faut aussi une tête froide et prévoyante pour les diriger. L'homme de mer, destiné à conduire un vaisseau au milieu des orages et des tempêtes, a plus besoin encore d'accroître l'étendue et les ressources de son esprit que les facultés de son corps. Ses bras ne sont pas ceux que la nature lui a donnés. Que pourroient-ils seuls contre les efforts impétueux des élémens? Ses bras sont ceux de ses matelots; c'est d'eux qu'il faut exiger de l'agilité et de l'adresse. Mais c'est la tête du manœuvrier qui doit être féconde en ressources; c'est son esprit qui doit prévoir les événemens, et diriger avec autant d'efficacité que d'économie les bras qu'il a en sa puissance. Il est l'ame de son vaisseau et des hommes qui se sont confiés à lui. S'il ne pense pour eux, s'il n'est pas capable de prévoir, s'il n'est point fécond en moyens, que deviendra-t-il dans ces circonstances difficiles où tout semble conspirer sa perte? Il auroit à lui seul autant d'adresse et d'agilité que tout son équipage, qu'il périroit encore, s'il ne savoit penser, combiner, et employer efficacement toutes les ressources de l'art.

On concilieroit toutes les opinions, si les jeunes marins pouvoient avoir à bord des vaisseaux tous les moyens d'instruction qu'exige le

premier âge. Mais la chose est visiblement impraticable ; et jamais on ne trouveroit assez d'instituteurs qui, n'étant pas marins, voulussent passer leur vie au milieu des eaux. Même les eût-on trouvés, il faudroit encore à bord des vaisseaux une certaine tranquillité et un certain recueillement dont l'étude a besoin, et qui est incompatible avec le service.

Si absolument on vouloit profiter du premier âge pour procurer au corps cette agilité et cette adresse qui sont nécessaires à l'homme de mer, un seul moyen resteroit. Ce seroit d'établir dans les ports militaires des lycées maritimes, où les élèves qui auroient atteint l'âge de 12 ans seroient exercés aux manœuvres les jours de congé, dans les ports, dans les rades et même le long de la côte.

Mais en appelant dans la marine les jeunes gens à un âge où on ne sauroit prononcer sur leurs talens naturels, on s'exposeroit souvent à admettre des sujets qui n'auroient pas assez de capacité, ou bien à élever pour un état des jeunes gens qu'on seroit obligé ensuite de destiner à un autre.

La grande importance qu'on met à ce que les enfans naviguent dès le premier âge, provient, comme nous l'avons dit, de la persuasion où on est qu'à cet âge seul on peut s'ac-

coutumer aux fatigues de la mer, et acquérir de l'adresse et de l'agilité.

Pour se désabuser d'une partie de cette opinion, il n'y a qu'à jeter les yeux sur cette foule de jeunes conscrits auxquels il suffit de quelques mois pour se faire à la vie dure des camps et à toutes les fatigues de la guerre. La marine même voit tous les jours des jeunes gens passer, à l'âge de dix-sept ou dix-huit ans, du sein de leur famille, à bord des vaisseaux, prendre sans peine l'habitude de la mer, et ne se distinguer pas moins par leur résignation que ceux qui ont navigué dès l'âge le plus tendre.

On sera ensuite pleinement convaincu, si on réfléchit, que l'adresse et l'activité dépendent bien plus de l'intelligence et du tempérament de l'individu que de son âge.

Pourvu qu'on n'attende pas l'époque de la vie où le corps commence, pour ainsi dire, à se durcir et à acquérir une sorte d'inflexibilité, il sera tems encore de le plier aux actions et aux mouvemens qu'exige l'exécution des manœuvres.

De toutes les qualités physiques, la plus longue à acquérir est certainement cette légèreté de mouvemens, ou cet aplomb qui fait que le corps se met aisément en équilibre, et dont le marin a besoin pour sa propre conservation.

Or l'acquisition de cette qualité dépend surtout de l'habitude. Accoutumez insensiblement les jeunes marins à monter à des hauteurs toujours plus grandes; faites-leur faire ensuite les manœuvres les plus aisées, passant par degrés aux plus difficiles; et avec cette méthode vous verrez les jeunes gens de 20 ans acquérir, en peu de tems, cette agilité et cette adresse auxquelles on attache tant d'importance et dont on exagère beaucoup trop les difficultés.

Que résulte-t-il de la méthode d'embarquer des enfans et de les faire naviguer à un âge où ils devroient s'instruire? Il en résulte des jeunes gens qui, à l'âge de 15 ou 16 ans, ne savent ni lire ni écrire, des jeunes gens sans connoissance de leur langue, ignorant entièrement les premiers principes de l'art maritime, et, qui pis est, incapables de jamais les apprendre. La plupart des aspirans dont nos vaisseaux sont encombrés, et qui fréquentent en vain les écoles de marine, ne sont que trop des preuves parlantes de l'opinion que je combats, et me dispensent de plus longs raisonnemens. C'est encore à cette méthode qu'on doit tant de routiniers et de marins ordinaires.

Mais si le manœuvrier a besoin d'un esprit cultivé et observateur; si une théorie profonde doit avoir éclairé sa longue expérience; et si le

sang-froid, la prévoyance et la fécondité de moyens deviennent des qualités indispensables aux succès de la manœuvre, il faut encore que les hommes dont il doit diriger les forces contre les élémens, aient acquis eux-mêmes cette dextérité et cette promptitude de mouvemens, sans lesquelles les ressources du manœuvrier seroient de nul effet.

Il est donc également important de former de bons matelots en même tems que d'habiles manœuvriers. C'est ici que la méthode d'embarquer les jeunes gens dès le premier âge peut trouver sa juste application. Cependant il y auroit des inconvéniens à faire naviguer des enfans qui ne seroient pas encore parvenus à leur 12.e année. Le corps peut bien supporter certaines épreuves, mais chaque âge et chaque tempérament a un degré de force et de vigueur, au-delà duquel on ne sauroit aller sans nuire à la constitution de l'individu.

Ainsi des enfans parvenus à leur 12.e ou 13.e année, et qui seroient destinés à être matelots, pourroient commencer leur navigation à cet âge, pourvu toutefois qu'on ménageât leurs forces, et qu'on n'exigeât pas d'eux un service au-dessus de leurs moyens physiques.

Bien loin de faire de ces enfans les valets des matelots et de les traiter avec brutalité, il

seroit digne de l'humanité du capitaine et de l'intérêt qu'inspire ce premier âge, de régler exactement le service qu'ils auroient à faire, et de charger quelques-uns des officiers mariniers d'enseigner à ces enfans les premiers principes de leur art, en leur faisant bien connoître le gréement, et en les exerçant aux diverses opérations qu'il sont capables d'apprendre.

On ne manqueroit jamais de mousses, ni par conséquent de matelots, si on faisoit passer dans les ports tous les enfans-trouvés qui seroient parvenus à leur 12.^e^ année, et qu'on leur donnât l'instruction qu'exige cette profession. En destinant à la mer ces malheureuses victimes de la débauche, et en leur offrant les avantages d'un avancement, on exciteroit leur émulation, en même tems qu'on les soustrairoit aux dangers auxquels expose souvent dans les villes le défaut de lien et la honte attachée à son origine.

Les navigations lointaines et difficiles peuvent seules nous procurer des matelots adroits, courageux et infatigables. C'est à la pêche de la baleine, dans les mers périlleuses du Nord; c'est par des voyages aux Grandes-Indes que la marine hollandaise a formé ses matelots dans le tems de sa puissance et de sa gloire. C'est encore la pêche de la morue au grand banc de

Terre-Neuve, et les navigations dans les mers lointaines, qui fournissent aujourd'hui à l'Angleterre le nombre prodigieux de marins dont elle arme ses flottes.

Encouragez donc les voyages de long cours; accordez des primes aux navires qui se destineront à des expéditions longues et difficultueuses; favorisez l'établissement de compagnies de commerçans probes, instruits et actifs; et vous aurez bientôt des matelots habiles et expérimentés.

Si l'Angleterre, jalouse des moyens de réforme dont elle craint les résultats, veut y mettre des obstacles, formez des armemens en course; n'ayez en mer que des frégates et d'autres petits bâtimens; et faites rentrer dans les ports tous les vaisseaux de ligne, jusqu'à ce que vous ayez de bons manœuvriers, d'habiles tacticiens et d'adroits matelots.

De tous les moyens de domter l'Angleterre, et de l'empêcher de mettre des obstacles au développement de notre marine, il n'y en a pas de plus efficace que de faire fermer à cette puissance tous les ports de l'Europe, ou au moins d'empêcher, comme on vient de le faire, l'introduction de ses marchandises en France,

en Espagne, en Italie, en Hollande et dans toute l'Allemagne.

Mais si d'habiles manœuvriers et de bons matelots sont nécessaires pour imprimer au vaisseau tous les mouvemens que les circonstances exigent, il faut encore former des officiers supérieurs capables de diriger une armée navale.

Or, pour devenir l'ame et le régulateur d'une grande armée; pour imprimer à toutes les parties qui la composent, cette précision et cette promptitude de mouvemens d'où dépend le succès; pour pénétrer les pensées d'un ennemi adroit et expérimenté; pour éviter ses piéges; pour profiter de ses fautes; pour inventer des ressources qu'il ne soupçonne pas; pour communiquer enfin à tous ceux qu'on commande son énergie, son courage et sa prudence: que de grandes qualités ne faut-il pas! Quelle force de tête! Quel sang-froid! Quelle instruction! Quelle expérience!

Si la nature nous a refusé cette force de conception à laquelle rien n'échappe, cette sagacité qui saisit toutes les faces d'un objet, cette fermeté que rien n'ébranle et cette froideur de tête qui laisse l'esprit maître de toutes ses pen-

sées au milieu même du danger, en vain prétendrions-nous à la direction d'une armée navale; en vain croirions-nous devenir d'habiles tacticiens par la lecture des principes de cet art : nous ne tarderions pas à faire la triste expérience de l'insuffisance de nos talens, et à sentir combien cette tâche est difficile à remplir et demande de rares qualités.

Où trouver donc ces hommes extraordinaires? C'est naturellement parmi les plus habiles manœuvriers qu'on doit les chercher. Les circonstances difficiles où ils se sont trouvés, la présence d'esprit qu'ils ont montrée, l'adresse avec laquelle ils se sont tirés d'un mauvais pas, seront des garans de ce qu'ils feront à la tête d'une armée. Cependant, avant de leur confier la direction d'une escadre, d'une flotte, faites-les passer par le commandement d'un nombre de vaisseaux successivement plus grand, afin de leur donner l'occasion de développer leurs talens, et le tems d'acquérir cette expérience qui multiplie les ressources, en même tems qu'elle procure cette prudence si nécessaire surtout quand il s'agit d'aussi grands intérêts.

Des conférences régulières entre les plus habiles manœuvriers, et dans lesquelles on pro-

poseroit des problèmes de tactique navale, seroient très-propres à donner de nouvelles vues, à former des commandans, et à faire connoître les sujets distingués qui montrent le plus de talens. Ces conférences tiendroient les esprits en haleine, les forceroient à s'occuper des progrès de leur art, et deviendroient pour tous un sujet d'émulation.

Les points dont on seroit convenu, ou les projets mis au jour dans ces mêmes conférences, pourroient être essayés et soumis à l'épreuve de l'expérience, par la formation d'escadres d'évolution, qu'on feroit manœuvrer au-dehors en tems de paix, et dans les grandes rades, en tems de guerre. On auroit ainsi de nouvelles occasions de reconnoître le talent de chaque manœuvrier, et de contribuer à son développement. Des récompenses distribuées aux officiers qui auroient montré le plus d'habileté, ne pourroient que produire un bon effet, en donnant au mérite modeste l'espoir de n'être plus supplanté par l'ignorant ambitieux.

La conséquence que nous devons tirer de tout ce qui précède, c'est que l'art de la marine est peut-être le plus difficile de tous les arts; qu'il demande des qualités que la nature seule

donne; et des connoissances profondes qui supposent une première éducation bien soignée, et de grands moyens d'instruction; que, sans ces connoissances, l'homme de mer ne sauroit acquérir cette expérience précieuse, fruit de l'observation et du raisonnement; et enfin que le seul moyen de donner à notre marine des fondemens solides, est de la baser sur le talent et sur une instruction étendue.

Ces moyens de réforme sont lents, il est vrai, mais la nature des choses l'exige; et c'est surtout pour avoir voulu trop se hâter, et n'avoir pas assez senti la nécessité de la théorie, que notre marine a été réduite à un état de foiblesse que l'expérience ne nous a déjà que trop fait connoître.

Les causes de cette foiblesse n'ont certainement pas échappé à l'œil pénétrant du génie qui nous gouverne. Il a senti la grandeur du mal; et il attend, n'en doutons plus, les premiers momens de la paix qu'il va donner au monde, pour rendre à cette partie importante de notre puissance la force et la vigueur qu'il a su imprimer à toutes les autres branches du service public.

A cette réforme est attachée l'indépendance des mers, la prospérité de notre commerce, le développement de notre industrie, l'encouragement de notre agriculture, et, en un mot, la fortune de l'État et celle des citoyens.

# PLAN DE L'OUVRAGE.

En composant cet ouvrage, mon but a été d'abord de faire connoître aux jeunes marins les divers mouvemens du vaisseau ; de leur faire apprécier au moins approximativement les causes de ces mouvemens, et de leur apprendre à modifier ces causes, de manière à en obtenir les résultats que les circonstances demandent.

J'ai aussi tâché de leur faire sentir l'importance et les difficultés de l'art de la manœuvre ; et en cela j'ai eu pour objet de leur inspirer le désir d'acquérir les connoissances nécessaires pour approfondir la théorie, en même tems que je leur facilitois l'étude des ouvrages profonds qui traitent de cette partie aussi difficile qu'intéressante.

Depuis long-tems j'avois aperçu le vide qu'il y avoit dans les études que faisoient aux écoles les aspirans de marine. Après avoir appris à ceux-ci les élémens de statique, on ne leur disoit pas un mot du seul objet pour lequel on les leur avoit enseignés, et qui les intéressoit tant. Aussi trouveroit-on bien peu d'aspirans qui, avec ces seules connoissances, aient pu se rendre raison des principaux phénomènes auxquels un vaisseau donne lieu.

Dans cet état de choses, j'ai cru travailler utilement, en faisant un ouvrage à la portée des jeunes marins qui connoîtroient les élémens de statique, et dans lequel ils trouveroient exposés avec assez de simplicité les principes fondamentaux de l'art de la manœuvre. J'ai pensé aussi qu'un tel ouvrage, en contribuant à rendre les jeunes gens attentifs à tout ce qui se passe sous leurs yeux, pourroit concourir à les rendre observateurs, et leur inspirer le goût de l'étude et des connoissances plus approfondies.

Il est vrai que plusieurs auteurs sembloient avoir déjà eu le même objet en vue. Euler a exposé la théorie de la construction et de la manœuvre. Bourdé a publié son *Manœuvrier*, et Romme, la *Science de l'homme de mer*, suivie de l'*Art de la marine.*

L'ouvrage du premier est celui d'un géomètre ingénieux qui a su éluder avec esprit toutes les difficultés du problème, et présenter des résultats sinon bien satisfaisans, au moins assez simples et assez propres à donner une idée de l'art de la manœuvre. Mais, outre que sa théorie s'éloigne en général un peu trop de la vérité, il n'a pas assez appliqué ses principes aux divers cas de manœuvre; et les jeunes gens y trouveroient encore un vide qu'ils auroient de la peine à remplir.

Bourdé, officier estimable et zélé pour son art, est tombé dans le défaut contraire. Il a beaucoup

insisté sur la partie pratique, et n'a pas exposé la théorie avec cet ordre, cette clarté, ni cette étendue dont on avoit besoin pour en bien sentir les applications.

Romme, professeur distingué de la marine, à laquelle il a rendu de longs et signalés services, a démontré, il est vrai, dans son ouvrage sur la *Science de l'homme de mer*, les principes de mécanique qui auroient pu conduire aisément les élèves à la connoissance des divers mouvemens du vaisseau: mais il s'est arrêté à la mécanique, et pour l'application il a renvoyé à un autre ouvrage assez considérable, publié précédemment sur l'art de la marine; ouvrage précieux sans doute, mais encore trop étendu et quelquefois trop concis pour des jeunes gens. D'ailleurs, en adoptant dans ces deux ouvrages la méthode qu'on suit dans les mémoires et en serrant trop les objets, l'auteur les a peut-être trop multipliés, et ne les a pas rendus assez distincts, pour être saisis facilement par des esprits peu accoutumés à la méditation. C'est là vraisemblablement une des causes pour lesquelles les marins ne se sont pas empressés à étudier ces deux ouvrages, quoique leur lecture leur eût été pourtant très-avantageuse.

C'est donc dans l'intention d'éviter cet inconvéniens et de faire un ouvrage plus accommodé à l'état actuel des connoissances des jeunes marins, que j'ai entrepris mon travail: heureux si je puis

par là être utile à la marine, dont les succès m'intéressent d'une manière particulière.

Après avoir exposé les motifs et le but de cet ouvrage, il ne me reste plus qu'à faire connoître les moyens que j'ai employés pour remplir les vues d'utilité qui m'ont dirigé.

La première partie renferme les principes de mécanique nécessaires à l'explication des phénomènes auxquels les mouvemens du vaisseau donnent lieu. Après quelques définitions indispensables, j'ai repris le problème de la composition et de la décomposition des forces, et j'ai cherché des formules qui établissent les relations entre les forces composantes, leur résultante et les directions que suit chacune d'elle. Ces formules sont indispensables dans la pratique; et comme elles ne se trouvoient pas dans la statique de M. Monge, j'ai cru devoir les donner. La détermination du centre de volume de la carène n'ayant pas été non plus démontrée dans ce même ouvrage, il a été nécessaire d'en chercher la démonstration.

De là j'ai passé aux lois du mouvement rectiligne uniforme, et des mouvemens uniformément accélérés et retardés, en supposant d'abord toutes les parties de la masse réunies au centre de gravité. Les formules du mouvement rectiligne uniformément accéléré ont fait connoître les lois de la chute des corps.

Examinant ensuite le cas où la direction des

forces ne passeroit point par le centre de gravité, j'ai été conduit à parler des mouvemens de rotation autour de ce centre; à déterminer la vitesse angulaire d'un corps homogène et d'un corps hétérogène, et à chercher les causes qui tendoient à changer l'axe de rotation. J'ai dû, en traitant ce sujet, m'en tenir à ce qu'il renfermoit de plus fondamental et de plus usuel, sans m'enfoncer dans des recherches et des discussions qui n'auroient pas été à la portée des jeunes gens auxquels mon travail est destiné.

Enfin, la détermination des lois du choc des corps durs, des corps mous et des corps élastiques, termine ce que j'avois à dire sur la dynamique.

La partie la plus délicate et la plus difficile à mettre à la portée des commençans, étoit celle qui devoit traiter de l'action des fluides sur les corps solides en repos et en mouvement, et qui comprenoit les principes généraux d'hydrostatique et d'hydrodynamique.

Quant aux lois de l'équilibre, l'expérience concouroit assez évidemment à les établir. Après avoir démontré l'égalité de pression qu'éprouve dans tous les sens une molécule fluide appartenant à une masse en équilibre, nous en avons déduit la pression qu'exerce contre un corps en repos, suivant une direction quelconque, une masse fluide qui est aussi sans mouvement.

Pour simplifier les recherches sur l'action réciproque qu'exercent l'un sur l'autre deux corps, l'un solide et l'autre fluide, nous avons d'abord supposé le premier en repos et le second en mouvement; ensuite, le fluide en repos et le corps solide en mouvement; et enfin, les deux corps en mouvement. De toutes les méthodes qui ont été suivies jusqu'à présent, il falloit ici choisir celle qui réunissoit la simplicité à toute l'exactitude qu'on peut se promettre dans un problème de cette nature.

Don Georges Juan avoit traité ce sujet d'une manière assez satisfaisante. Mais ses formules sont longues; elles exigent des intégrations qu'il falloit éviter, et des discussions trop délicates qui eussent rebuté la majorité des lecteurs.

Daniel Bernoulli avoit conclu de ses observations que les molécules d'une eau courante n'éprouvoient dans tous les sens qu'une pression qui étoit due à leur distance au niveau de l'eau, moins la hauteur due à la vitesse qu'elles avoient.

Romme avoit fait de nouvelles expériences à ce sujet, avoit confirmé le principe et l'avoit appliqué, au moins avec assez de simplicité, à l'action de l'eau sur la carène.

Dans l'attente de nouvelles expériences, et d'une théorie plus rigoureuse qui ne peut être que le résultat de très-longues observations discutées avec autant de prudence que de sagacité, je n'ai pas cru pouvoir mieux faire que de partir du



principe trouvé par Daniel Bernoulli, par la raison bien puissante qu'il en résultoit une méthode à la portée des jeunes gens, et qui, en s'accordant assez bien avec les résultats de l'expérience, remplissoit le but que je me proposois, qui étoit de rendre raison de tous les mouvemens du vaisseau, et d'en faire apprécier à peu près les causes.

Dans la seconde partie, j'applique les principes généraux de mécanique, aux divers états du vaisseau ; c'est-à-dire que je détermine l'action de l'eau et du vent sur le vaisseau flottant sans mouvement progressif, ainsi que l'action de l'eau et du vent sur le vaisseau qui est sous voile.

Mais le navire, quoique sans mouvement progressif, étoit susceptible de mouvemens de rotation ; il a donc fallu trouver les moyens qu'il avoit pour se relever de ses inclinaisons : ce qui nous a conduit aux formules de stabilité, dans le tangage et dans le roulis. L'examen de ces formules nous a fait connoître comment on pouvoit augmenter cette qualité essentielle.

En considérant le vaisseau sous voile, on avoit à déterminer la force qui le faisoit mouvoir ; et pour cela il devenoit nécessaire de connoître la résistance de l'eau sur la carène, et l'action du vent sur les voiles. La combinaison de ces deux forces nous a amené à la connoissance de leur résultante et à une formule de relation entre l'angle de la dérive et ces mêmes forces. Mais la

détermination complète de la force motrice supposoit celle de la vitesse du vent et de la direction vraie suivant laquelle cette vitesse avoit lieu Pour le premier objet, j'ai décrit l'instrument proposé par Bouguer. Quant au second, une formule a donné le rapport entre les angles de la direction vraie et ceux de la direction apparente marquée par la girouette, ainsi qu'entre les vitesses du vent et celles du vaisseau.

Après avoir tâché d'estimer la grandeur du mouvement progressif et sa direction, il nous restoit encore à examiner les effets de l'eau et du vent par rapport aux mouvemens de rotation autour des trois axes principaux. Cette recherche a donné lieu à des formules d'après lesquelles on peut connoître la grandeur de ces mouvemens, le côté vers lequel ils se font, et les moyens à prendre pour les modifier.

L'effet du gouvernail, comme tendant à produire des mouvemens de rotation, devoit naturellement venir ensuite. Nous avons donc examiné quelle pouvoit être sur ces mouvemens l'influence de l'étendue et de la forme du gouvernail, celle de sa distance au centre de gravité du vaisseau, et enfin l'angle sous lequel ce gouvernail devoit recevoir le choc de l'eau.

L'objet de l'art de la manœuvre est d'employer les moyens que l'on a, à produire les plus grands effets possibles. C'est pourquoi nous avons cher-

ché comment on pourroit rendre *maximum* la vitesse progressive du vaisseau et celle de rotation. Pour remplir cet objet, autant que pouvoient le permettre les connoissances supposées à nos lecteurs, nous avons donné une idée de la méthode par laquelle on détermine le *maximum* ou le *minimum* d'une quantité; ce qui nous a obligés à dire deux mots de la manière de trouver la différentielle d'une quantité. Ensuite nous avons fait l'application de la méthode des *maxima* au mouvement progressif du vaisseau et à celui de rotation.

Enfin nous avions encore à considérer les effets du choc des lames contre le vaisseau. Cette théorie, la plus délicate de toutes, nous n'avons pu que l'ébaucher, et nous nous sommes contentés d'y trouver les règles à suivre dans la distribution intérieure des poids, pour éviter les funestes effets de ce choc.

La position du centre de gravité du vaisseau ayant la plus grande influence sur les qualités de celui-ci, ainsi que sur sa durée, il importoit de parcourir les causes de cette influence, et d'indiquer les moyens de la modifier. C'est donc par cet examen que nous avons terminé la seconde partie, qu'on doit regarder comme renfermant spécialement les principes de l'art.

La troisième partie n'est que l'application des principes précédens à la pratique. Elle forme pro-

prement l'art de la manœuvre. Mais, pour employer à propos les moyens que l'on a, il est nécessaire de bien connoître ces moyens. C'est pourquoi nous avons examiné d'abord quels effets produisoient les voiles tant de l'arrière que de l'avant, pour mouvoir le vaisseau suivant sa route, et pour le faire tourner autour des deux axes horizontaux et autour de l'axe vertical.

Parmi les diverses manières d'orienter les voiles, nous avons cherché quelle étoit la plus avantageuse, et ensuite par quels moyens on faisoit venir un vaisseau au vent, ou on le faisoit arriver. L'application des principes ci-dessus nous a donné enfin la solution des principales manœuvres, telles que les appareillages, les viremens de bord, la panne, la cape, la chasse, la sonde et le mouillage. Si nous n'avons pas insisté sur les démonstrations de ces solutions, comme l'a fait Bourdé, c'est qu'elles sont des conséquences palpables des principes, et qu'il est plus utile aux jeunes gens de leur laisser quelque chose à trouver, que de leur enlever toute occasion de réfléchir.

Le perfectionnement de la théorie et de la pratique exigeant que les marins mettent de l'ordre, du choix et de l'exactitude dans leurs observations, je leur ai désigné quels étoient les objets qui méritoient le plus leur attention, et je leur ai proposé un modèle de journal qui renferme tout ce qu'il y a d'intéressant à observer et à connoître dans les mouvemens du vaisseau.

Mais, comme le manœuvrier a besoin de beaucoup se familiariser avec les maximes et les règles qui résultent de la théorie, j'ai cru devoir les renfermer dans un cadre plus étroit, afin qu'il pût les saisir d'un coup d'œil et les retrouver aisément au besoin. En même tems j'ai pensé qu'une classe de marins qui ne seroit pas en état de comprendre la théorie, pourroit se servir utilement des résultats auxquels celle-ci conduit.

Ce Manuel est précédé des formules démontrées dans la seconde Partie. A la suite de ces formules, on trouve les maximes fondamentales qui en découlent, et dont la méditation est très-importante. Viennent enfin des observations sur l'effet des voiles, observations qui conduisent naturellement aux diverses règles de manœuvres que j'ai détaillées tout de suite après, en faveur de ceux surtout qui ne pourroient pas les trouver d'eux-mêmes.

Après avoir appris à manœuvrer un vaisseau navigant seul, je ne pouvois guère me dispenser de parler des manœuvres à faire quand on est en corps d'armée, et par conséquent d'exposer les principes fondamentaux de l'attaque et de la défense. Mais ne voulant pas donner un Traité complet de tactique, je me suis contenté d'en faire un Précis, afin de préparer les jeunes marins à l'étude plus approfondie des Ouvrages qui ont été faits sur cette partie. D'ailleurs, les principes de

cet art sont très-simples, et ils doivent suffire à celui qui sait observer et qui a de l'expérience et de la sagacité. C'est ici surtout que l'expérience et une grande pratique en apprennent plus qu'un Traité longuement détaillé. Celui qui connoissant les premiers principes ne sera point en état de faire toutes les applications possibles, et de trouver lui-même tout ce qu'il importe de faire dans telle ou telle circonstance, ne sera jamais habile tacticien. Je ne prétends pas pour cela interdire aux jeunes gens la lecture des Ouvrages que nous avons en ce genre. Je veux seulement leur faire sentir la nécessité de bien se pénétrer de l'esprit de la science, sans surcharger leur tête d'une foule de détails qu'ils doivent s'exercer à trouver d'eux-mêmes.

Jusques à présent on a dédaigné l'application de la géométrie aux évolutions navales, sous le vain prétexte qu'on ne sauroit en mer manœuvrer avec cette régularité ni cette exactitude que prescrivent les déterminations géométriques. Si le père Hoste, dont le *Traité de Tactique* sera toujours estimé, a paru partager ce préjugé, c'est sans doute parce que les officiers de marine de son tems n'avoient pour la plupart que bien peu de connoissances en géométrie, et que, pour ne pas les éloigner de l'étude de la tactique, il a été obligé de leur persuader qu'on pouvoit rendre cet art-là indépendant de la géométrie.

C'est pourquoi je pense que l'application de cette science aux évolutions navales peut fournir des moyens aussi simples que sûrs, pour manœuvrer avec le moins de perte de tems possible : car alors, l'art de manœuvrer en armée se trouveroit presque réduit à la solution de ce problème : *Connoissant la position que l'on a relativement aux autres vaisseaux, et celle qu'on doit avoir ensuite, trouver le rumb direct à suivre pour se rendre à son poste.*

Persuadé de l'utilité de cette application, j'en ai donné une idée ; et je désire qu'avant de prononcer sur son inutilité, des tacticiens habiles et dégagés de tout préjugé la soumettent à l'épreuve de l'expérience, si jamais on forme des escadres d'évolution, pour se procurer de bons officiers et des équipages expérimentés.

Dans la méthode que j'ai suivie, j'ai tâché de réunir l'exactitude à la simplicité, à la clarté et à la brièveté, au moins autant qu'il m'a été possible. Plus de développemens donnés à certaines démonstrations auroient, sans doute, contribué à rendre celles-ci plus faciles à comprendre. Mais alors il auroit fallu faire un Ouvrage très-volumineux, ou bien omettre beaucoup de choses importantes ; ce qui ne pouvoit remplir le but que j'avois de mettre les jeunes gens dans la voie des connoissances, en les obligeant à réfléchir, plutôt que d'en faire des machines, en leur disant tout.

Celui qui possédera les principes d'arithmétique, de géométrie, d'algèbre et de [illegible]tique que suppose mon ouvrage, et qui saura réfléchir, ne sera guère arrêté par des difficultés; et, s'il l'étoit, les efforts qu'il feroit pour les vaincre tourneroient à son avantage.

Si je ne suis pas entré dans tous les détails de manœuvre qu'une certaine classe de marins pourroient peut-être désirer, c'est que ces détails ne peuvent bien s'apprendre qu'à bord des vaisseaux, ayant les objets sous les yeux; et que la pratique est bien plus propre à les graver dans la mémoire, que tout ce qu'on en pourroit dire dans les livres. Mon but sera rempli, si j'ai fait connoître aux jeunes marins qui sortent des écoles les vrais principes qui doivent diriger leur expérience, et si j'ai contribué à leur donner une pratique plus raisonnée et plus sûre.

# ÉLÉMENS

DE LA

# MANOEUVRE DES VAISSEAUX.

## NOTIONS PRÉLIMINAIRES

OU

## PRINCIPES GÉNÉRAUX DE MÉCANIQUE.

### DÉFINITIONS.

Un corps est dit *en mouvement* lorsqu'il passe d'un lieu dans un autre.

On appelle *vitesse* d'un corps l'espace qu'il peut parcourir pendant l'unité de tems.

Un corps est en *repos* tout le tems qu'il demeure dans le même lieu.

La cause qui fait passer ou tend à faire passer un corps du repos au mouvement, ou du mouvement au repos, prend le nom de *force* ou de *puissance*.

Une force s'estime par la vitesse qu'elle imprime ou qu'elle tend à imprimer à un corps d'une masse connue, c'est-à-dire, par l'espace qu'elle lui fait par-

courir réellement, ou bien qu'elle tend à lui faire parcourir dans un instant connu.

Un corps n'est susceptible de passer du mouvement au repos ou du repos au mouvement, que parce qu'il oppose une *résistance* à l'action des forces qui tendent à le faire changer d'état. De là cet axiome, que l'*action est égale et opposée à la réaction;* c'est-à-dire que les efforts que fait une force pour communiquer ou détruire le mouvement dans un corps sont égaux aux efforts que fait ce corps pour s'y opposer. Cette résistance a été appelée *force d'inertie.*

L'*équilibre* d'un corps est un état de repos provenant de ce que l'effet des forces qui tendent à mettre ce corps en mouvement est entièrement détruit, soit que les forces s'entrenuissent elles-mêmes, ou que leurs efforts soient anéantis par d'autres obstacles.

La *masse* d'un corps est la quantité de matière que ce corps renferme. Elle se mesure par le poids du corps.

La *densité* d'un corps est la quantité de matière contenue dans l'unité de volume; ou encore, le rapport de la masse au volume, rapport qu'il faut déterminer en divisant la masse du corps par son volume.

Le mouvement est *uniforme* lorsqu'en tems égaux il fait parcourir des espaces égaux. Il est *uniformément accéléré* ou *retardé*, suivant qu'il reçoit, dans des tems égaux et successifs, des accroissemens ou des décroissemens égaux.

# DE LA COMPOSITION ET DE LA DÉCOMPOSITION DES FORCES.

## PROBLÈME Ier.

*Une force étant donnée en grandeur et en direction, la décomposer en deux forces dont les directions soient parallèles à deux axes qui se coupent dans le plan de la direction de la force proposée ; et en déduire des équations de relation entre les forces et les angles que font leurs directions entre elles.* (Pl. I, fig. 1.)

Solution. Soit P la force qu'il s'agit de décomposer; soit M son point d'application, auquel nous supposerons réduite ou concentrée toute la masse du corps sur lequel la force est supposée agir; soit MB l'espace que la force P peut faire parcourir au corps M suivant MB pendant l'unité de tems, dans une seconde, par exemple ; soient enfin les deux axes AX et AY faisant entr'eux un angle K et situés dans le même plan que MB.

Cela posé, on fera passer par le point M les droites MX', et MY', parallèles respectivement aux deux axes. Ensuite du point B on menera deux nouvelles parallèles BD et BC aux mêmes axes. Les côtés

contigus MC et MD du parallélogramme MCBD représenteront en grandeur et en direction les forces composantes cherchées.

Si maintenant nous exprimons par X′ et Y′ ces forces, et que nous fassions ang. BMC $= m$, et ang. BMD $= n$, nous aurons

MC : MB :: sin. MBC : sin. MCB.

Or

MC : MB :: X′ : P et sin. MCB = sin. CMD, sin. MBC = sin. BMD.

Donc

$$X' : P :: \sin. n : \sin. (m+n).$$

Semblablement, on auroit Y′ : P :: sin. $m$ : sin. $(m+n)$ ou P : Y′ :: sin. $(m+n)$ : sin. $m$.

De ces proportions on déduit

$$\left.\begin{array}{ll} X' = \frac{P \times \sin. n}{\sin. (m+n)}, & Y' = \frac{P \times \sin. m}{\sin. (m+n)} \\ P = \frac{X' \sin. (m+n)}{\sin. n}, & P = \frac{Y' \sin. (m+n)}{\sin. m} \\ \text{et } \frac{X'}{Y'} = \frac{\sin. n}{\sin. m}. & \end{array}\right\} (1)$$

Dans le cas où les deux axes seroient perpendiculaires l'un à l'autre, on auroit

$$m + n = 90°, \ \sin. (m+n) = 1.$$

et par conséquent

$$X' = P \sin. n; \ Y' = P \sin. m$$

ou

$$X' = P \cos. m \text{ et } Y' = P \sin. m \text{ cos.} \ldots\ldots (2)$$

d'où l'on tireroit

$X'^2 = P^2 \cos.^2 m$, $Y'^2 = P^2 \sin.^2 m$ et $X'^2 + Y'^2 = P^2 (\sin.^2 m + \cos.^2 m)$.

donc, à cause de $\sin.^2 m + \cos.^2 m = 1$, on aura

$$P = \sqrt{X'^2 + Y'^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

D'après les formules (1), (2) et (3), on pourra, de la connoissance de la force résultante, passer à celle des forces composantes, et réciproquement.

## PROBLÈME II.

*Une force étant donnée en grandeur et en direction, on demande de la décomposer en trois forces dont les directions soient parallèles à trois axes perpendiculaires entr'eux ; et ensuite de trouver des équations de relation entre les forces composantes, leur résultante, et les angles que les directions de ces forces font entr'elles.* (Pl. I, fig. 2.)

Solution. Soit P la force proposée exprimée en grandeur et en direction par la droite MB. Soient AX, AY et AZ les trois axes donnés.

Par le point M auquel est appliquée la force P, menons les droites MX', MY' et MZ' respectivement parallèles aux trois axes donnés. Ensuite par le point B concevons les perpendiculaires BF, BG et BH, sur les plans X'MY', Y'MZ' et X'MZ'. Des points F, G et

H, qu'on appelle *projections* du point B, sur chacun des plans, menons les droites FD et FC, GE et GC, HE et HD, parallèles respectivement aux axes situés dans leur plan, de manière à former les parallélogrammes MCFD, MEGC et MDHE. Cette opération finie, il est évident que la force P ou MB aura pour forces composantes les forces représentées par MF et ME, à cause du parallélogramme MEBF dont MB est la diagonale.

Mais la force MF ou Q peut se décomposer en deux forces MD et MC, que nous exprimerons par X' et Y'. Donc les forces cherchées seront proportionnelles aux droites MD, MC et ME : de sorte qu'on aura

$$P : X' : Y' : Z' :: MB : MD : MC : ME.$$

D'où l'on tirera ensuite

$$X' = \frac{P \times MD}{MB};\ Y' = \frac{P \times MC}{MB} \text{ et } Z' = \frac{P \times ME}{MB}.$$

Il ne s'agit plus maintenant que de trouver les valeurs des droites MB, MD, MC et ME par le moyen des quantités données.

Or, puisque la force P est donnée en grandeur et en direction, la situation du point B relativement aux trois plans X'MY', X'MZ' et Y'MZ' sera connue, et par conséquent les perpendiculaires BF, BH et BG qui expriment les distances respectives du point B à ces plans, seront des quantités données.

De plus, les angles que fait la direction MB de la résultante avec les axes ou leurs parallèles, sont connus par la même raison.

Nous ferons donc ang. BMD $= m$, ang. BMC $= n$ et ang. BME $= p$.

Cela posé, on observera que les six plans BC, MH, MF, MG, BE et BD forment ensemble un parallélépipède rectangle, et que par conséquent l'arête MD est perpendiculaire sur la diagonale DB, l'arête MC l'est sur la diagonale BC, et l'arête ME sur la diagonale BE.

Donc les triangles rectangles BDM, BCM et BEM donneront

$$\text{MD} : \text{BM} :: \cos.\ \text{BMD} : 1;$$
$$\text{MC} : \text{BM} :: \cos.\ \text{BMC} : 1;$$
$$\text{ME} : \text{BM} :: \cos.\ \text{BME} : 1.$$

et par conséquent

$$\text{MD} = \text{BM} \cos.\ m;\ \text{MC} = \text{BM} \cos.\ n \text{ et } \text{ME} = \text{BM} \cos.\ p.$$

Substituant ces valeurs dans les expressions de X′, Y′ et Z′, nous aurons enfin

$$\text{X}' = \text{P} \cos.\ m;\ \text{Y}' = \text{P} \cos.\ n;\ \text{Z}' = \text{P} \cos.\ p.\ \ldots\ (4)$$

Si on vouloit déterminer MB par le moyen des trois arêtes contiguës MD, MC et ME, on auroit d'abord

$$\overline{\text{BM}}^2 = \overline{\text{MD}}^2 + \overline{\text{BD}}^2.$$

Or le triangle BFD rectangle en F donne

$$\overline{\text{BD}}^2 = \overline{\text{BF}}^2 + \overline{\text{DF}}^2 \text{ et } \text{DF} = \text{MC},\ \text{BF} = \text{ME}.$$

Donc $\overline{\text{BM}}^2 = \overline{\text{MD}}^2 + \overline{\text{ME}}^2 + \overline{\text{MC}}^2$

et $\text{BM} = \sqrt{\overline{\text{MD}}^2 + \overline{\text{ME}}^2 + \overline{\text{MC}}^2}\ \ldots\ (5)$

D'où nous conclurons que la *diagonale d'un parallélépipède rectangle est égale à la racine carrée de la somme des carrés de trois arêtes contiguës.*

Substituant dans la nouvelle expression de $\overline{\text{BM}}^2$,

les valeurs de MD, de MC et de ME trouvées ci-dessus, on aura

$$\overline{BM}^2 = \overline{BM}^2 \cos.^2 m + \overline{BM}^2 \cos.^2 n + \overline{BM}^2 \cos.^2 p$$

et divisant tout par $\overline{BM}^2$, il viendra

$$1 = \cos.^2 m + \cos.^2 n + \cos.^2 p. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Cette équation me fait voir qu'en élevant au carré les équations $X' = P \cos. m$, $Y' = P \cos. n$, $Z' = P \cos. p$, on aura le carré de P par le moyen des forces composantes. En effet on trouvera, en effectuant le calcul

$$X'^2 + Y'^2 + Z'^2 = P^2 \cos.^2 m + P^2 \cos.^2 n + P^2 \cos.^2 p = P^2 (\cos.^2 m + \cos.^2 n + \cos.^2 p),$$

et par conséquent

$$P^2 = X'^2 + Y'^2 + Z'^2$$

d'où

$$P = \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Si maintenant de la connoissance des forces composantes et de leur résultante, on vouloit passer à celle de la position de cette même résultante, il faudroit non seulement déterminer la position du plan MB dans lequel cette résultante est placée, mais encore l'angle BME que cette résultante fait avec l'arête MZ'.

Or la position du plan MB qui contient la résultante sera connue, si on détermine l'angle DMF que fait ce plan avec le plan Z'MX'. Supposons donc ang. DMF $= q$. Comme dans un triangle rectangle, un des côtés est toujours égal à l'hypothénuse multipliée par

le cosinus de l'angle oblique adjacent à ce côté, ou par le sinus de l'angle opposé, on aura dans le triangle DMF rectangle en D, $MF = \frac{MD}{\cos. q}$.

Or $MF = BM \cos. BMF = BM \sin. BME = BM \sin. p$

et $MD = BM \cos. BMD = BM \cos. m$.

Donc $BM \sin. p = \frac{MD}{\cos. q} = \frac{BM \cos. m}{\cos. q}$.

Donc $\sin. p \cos. q = \cos. m$. . . . . . . . . . . . (8)

Or (4) on a $Z'^2 = P^2 \cos.^2 p$;

Donc $1 - \frac{Z'^2}{P^2} = \sin.^2 p$ et $\sin. p = \frac{\sqrt{P^2 - Z'^2}}{P}$.

Mais on a aussi $\cos. m = \frac{X'}{P}$;

Donc l'équation (8) deviendra

$$\frac{\sqrt{P^2 - Z'^2}}{P} \cos. q. = \frac{X'}{P}$$

Donc $\cos. q = \frac{X'}{\sqrt{P^2 - Z'^2}}$ et $\cos. p = \frac{Z'}{P}$. . . . (9)

Si dans ces deux dernières équations, on ne vouloit point faire entrer la résultante P, on substitueroit la valeur de P tirée de l'équation (7), et alors on auroit

$\cos. q = \frac{X'}{\sqrt{X'^2 + Y'^2}}$ et $\cos. p = \frac{Z'}{\sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2}}$. (10).

Il est maintenant aisé de voir qu'avec les formules (4), (7), (9) et (10), on peut résoudre tous les cas de la composition et de la décomposition des forces concourantes à un même point.

## PROBLÈME III.

*Déterminer le centre de gravité de la carène d'un vaisseau supposée homogène.* (Pl. I.)

Solution. Soit CDMN la section horizontale de la carène faite à la flottaison, et A'B'C'D' la section verticale de la même carène par un plan qui passe par la quille. (*Fig.* 3 *et* 4.)

Concevons maintenant la carène partagée en tranches verticales très-minces par des plans perpendiculaires à la quille, et ensuite en tranches horizontales par des plans parallèles à la flottaison.

Soient les droites CD, EF, HI, KL et MN, les intersections de la flottaison par les plans verticaux perpendiculaires à la quille; et A'D', Q'T', P'U', O'R', N'M', les intersections du plan vertical passant par la quille, par les plans horizontaux parallèles à la flottaison.

Maintenant,

$$\text{Soient}\begin{cases} a\ a'\ a''\ a'''\ a'''', & \text{les ordonnées horizontales DC, EF, HI, KL et MN;} \\ b\ b'\ b''\ b'''\ b'''', & \text{celles de la section correspondante à Q'T';} \\ c\ c'\ c''\ c'''\ c'''', & \text{celles de la section correspondante à P'U';} \\ d\ d'\ d''\ d'''\ d'''', & \text{celles de la section correspondante à O'R';} \\ e\ e'\ e''\ e'''\ e'''', & \text{celles de la section correspondante à N'M'.} \end{cases}$$

Supposons aussi que ces ordonnées soient éloignées l'une de l'autre de la quantité $m$, ou que $AO=OP=PQ=QR=m$.

Cela posé, déterminons d'abord la distance du centre de gravité G de la flottaison à l'une des or-

données extrêmes CD ; et pour cela décomposons les trapèzes en lesquels on a partagé la flottaison, en triangles par les diagonales DF, EI, HL et KN.

Or la distance du centre de gravité d'une surface à une droite prise dans le plan de cette surface, est égale au quotient de la somme des momens de ses élémens, divisée par la somme de ces mêmes élémens.

Donc, pour avoir la distance GA, il faudra faire la somme des momens des triangles CDF, DFE, EFI, EHI, etc., et diviser cette somme par celle des mêmes triangles, c'est-à-dire, par la surface CDMN de la flottaison.

Mais, pour former le moment d'un triangle, il faut multiplier la surface de celui-ci par la distance de son centre de gravité à l'axe des momens. D'ailleurs le centre de gravité d'un triangle est éloigné d'une droite prise dans son plan, du tiers de la somme des perpendiculaires, menées des sommets de ses trois angles sur la même droite.

D'après ces principes, on dressera le tableau suivant :

| TRIANGLES. | SURFACES des triangles. | DISTANCE du centre de gravité du triangle à la droite CD. | MOMENT des triangles. | SOMME des momens. |
|---|---|---|---|---|
| CDF | $\frac{1}{2} ma$ | $\frac{1}{3} m$ | $\frac{1}{6} m^2 a$ | $m^2 \times \frac{1}{6} a$ |
| DEF | $\frac{1}{2} ma'$ | $\frac{2}{3} m$ | $\frac{2}{6} m^2 a'$ | $m^2 \times a'$ |
| FEI | $\frac{1}{2} ma'$ | $\frac{4}{3} m$ | $\frac{4}{6} m^2 a'$ | |
| EHI | $\frac{1}{2} ma''$ | $\frac{5}{3} m$ | $\frac{5}{6} m^2 a''$ | $m^2 \times 2 a''$ |
| HIL | $\frac{1}{2} ma''$ | $\frac{7}{3} m$ | $\frac{7}{6} m^2 a''$ | |
| HLK | $\frac{1}{2} ma'''$ | $\frac{8}{3} m$ | $\frac{8}{6} m^2 a'''$ | $m^2 \times 3 a'''$ |
| KLN | $\frac{1}{2} ma'''$ | $\frac{10}{3} m$ | $\frac{10}{6} m^2 a'''$ | |
| KMN | $\frac{1}{2} ma''''$ | $\frac{11}{3} m$ | $\frac{11}{6} m^2 a''''$ | $m^2 \times \frac{11}{6} a''''$ |

Divisant maintenant la somme des momens par la somme des surfaces des triangles, on aura

$$GA = \frac{m^2 \left[\frac{1}{6} a + a' + 2a'' + 3a''' + \frac{1}{6}(3 \times 5 - 4) a''''\right]}{m \left(\frac{1}{2} a + a' + a'' + a''' + \frac{1}{2} a''''\right)}$$

Pour passer de la connoissance du centre de gravité de l'une des sections horizontales de la carène, à celle du centre de gravité de la carène même, on concevra celle-ci composée de tranches horizontales infiniment minces; et alors la distance de son centre de gravité à un plan vertical perpendiculaire à la quille et passant par l'ordonnée extrême CD de l'arrière, sera égale au quotient de la somme des momens de chaque tranche ou de chaque section horizontale, divisée par la somme des tranches.

Nommant donc X la distance $G'g'$ du centre de gravité total de la carène au plan des momens qui passe par l'ordonnée extrême CD, et employant la lettre $\int$ pour désigner les sommes à faire, la formule précédente se changera en celle-ci.

$$X = \frac{\int . m^2 \left[\frac{1}{6} a + a' + 2a'' + 3a''' + \frac{1}{6}(3 \times 5 - 4) a''''\right]}{\int . m \left(\frac{1}{2} a + a' + a'' + a''' + \frac{1}{2} a''''\right)}.$$

Or, $m$ est une quantité constante, et en outre la somme d'une quantité est égale à la somme de toutes les parties qui entrent dans la formation de cette quantité; par conséquent, on aura

$$X = \frac{m \left[\frac{1}{6} \int . a + \int . a' + 2 \int . a'' + 3 \int . a''' + \frac{1}{6}(3 \times 5 - 4) \int . a''''\right]}{\frac{1}{2} \int . a + \int . a' + \int . a'' + \int . a''' + \frac{1}{2} \int . a''''}.$$

Mais la somme de toutes les ordonnées horizontales correspondantes à EF donne la surface de la section verticale de la carène par le plan qui passe par EF;

semblablement la somme des ordonnées correspondantes à HI, à KL, etc., exprime la surface des sections verticales de la carène par les plans qui passent par HI, par KL, etc.

Donc

$$
\begin{aligned}
\textstyle\int a &= \text{surf. } a \ldots = m\left(\tfrac{1}{2} a + b + c + d + \tfrac{1}{2} e\right)\\
\textstyle\int a' &= \text{surf. } a' \ldots = m\left(\tfrac{1}{2} a' + b' + c' + d' + \tfrac{1}{2} e'\right)\\
\textstyle\int a'' &= \text{surf. } a'' \ldots = m\left(\tfrac{1}{2} a'' + b'' + c'' + d'' + \tfrac{1}{2} e''\right)\\
\textstyle\int a''' &= \text{surf. } a''' \ldots = m\left(\tfrac{1}{2} a''' + b''' + c''' + d''' + \tfrac{1}{2} e'''\right)\\
&\text{etc., etc.}
\end{aligned}
$$

Substituant ces valeurs dans la formule précédente, on aura enfin

$$
X = m \times \left\{ \frac{\tfrac{1}{2}\left(\tfrac{1}{6}a + a' + 2a'' + 3a''' + \tfrac{11}{6}a''''\right) + \left(\tfrac{1}{6}b + b' + 2b'' + 3b''' + \tfrac{11}{6}b''''\right) + \left(\tfrac{1}{6}d + d' + 2d'' + 3d''' + \tfrac{11}{6}d''''\right) + \tfrac{1}{2}\left(\tfrac{1}{6}e + e' + 2e'' + 3e''' + \tfrac{11}{6}e''''\right)}{\tfrac{1}{4}\left(a + a'''' + e + e''''\right) + \tfrac{1}{2}\left(b + c + d + a' + a'' + a''' + e' + e'' + e''' + b'''' + c'''' + d''''\right) + \left(b' + b'' + b''' + c' + c'' + c''' + d' + d'' + d'''\right)} \right. \quad \ldots \; (11).
$$

Maintenant représentons par les droites A'N', E'F', H'I', K'L' et D'M' les intersections du plan longitudinal de la carène par les plans qui divisent celle-ci en tranches verticales, et on verra que les ordonnées $a$, $a'$, $a''$, $a'''$ et $a^{iv}$ passeront respectivement par les points A', E', H', K' et D'; que les ordonnées $b$, $b'$, $b''$, $b'''$ et $b^{iv}$, passeront par les points Q', $a$, $b$, $c$ et T'; que les ordonnées $c$, $c'$, $c''$, $c'''$ et $c^{iv}$ rencontreront le plan longitudinal aux points P', $i$, $g$, $d$ et U' : ainsi de suite pour les autres ordonnées.

D'après ce qui précède, on peut donc établir la règle suivante pour déterminer la distance du centre de gravité de la carène au plan vertical extrême, mené perpendiculairement à la quille.

1.° *Partagez la carène par un grand nombre de plans, les uns parallèles à la flottaison, et les autres au maître-couple, de manière qu'ils forment des*

*tranches très-minces et d'égale épaisseur : les intersections de ces plans avec le plan longitudinal qui passe par la quille formeront sur ce dernier un rectangle divisé en rectangles élémentaires, qui auront pour base la longueur du vaisseau et pour hauteur l'épaisseur d'une tranche.*

2.° *Mesurez toutes les ordonnées de la flottaison, en partant du plan des momens ; prenez ⅙ de la 1.re, ajoutez-y la 2.e, le double de la 3.e, le triple de la 4.e, le quadruple de la 5.e, ainsi de suite jusqu'à la dernière que vous multiplierez par le 6.e du triple du nombre d'ordonnées diminué de 4.*

*Faites une semblable opération pour chaque section horizontale, et vous aurez autant de sommes que de sections. Ensuite prenez la moitié des deux sommes extrêmes ; ajoutez-la à toutes les sommes intermédiaires, et vous aurez le numérateur de la fraction.*

3.° *Prenez le quart des quatre ordonnées extrêmes qui passent par le sommet des angles du grand rectangle formé sur le plan longitudinal ; ensuite la moitié des ordonnées intermédiaires qui ont chacune un point commun avec le contour du même rectangle. Enfin, ajoutez toutes les ordonnées restantes, et vous aurez le dénominateur de la fraction, laquelle, multipliée par l'épaisseur d'une tranche, donnera la distance cherchée.*

## PROBLÈME IV.

*Comment peut-on estimer la force qui agit sur un corps?*

SOLUTION. Nous ignorerons peut-être toujours quelle est la nature des forces, et comment celles-ci transmettent leur action aux diverses molécules d'un corps. Bornons-nous donc à observer les effets qu'elles produisent: c'est le seul moyen que nous ayons jusqu'à présent de les évaluer.

Supposons donc un corps d'une masse M, mu par une force F qu'il s'agit d'estimer, et capable de lui faire parcourir l'espace $v$ pendant l'unité de tems.

Si le corps n'a qu'un mouvement progressif, sans mouvement de rotation, l'effet de la force est réduit à faire parcourir l'espace $v$ à toute la masse. Mais plus cette masse sera grande, plus elle opposera de résistance à la force qui voudra changer son état. Or l'action qu'exerce une force contre un corps est égale et opposée à la réaction de ce corps ou à sa force d'inertie. Donc la force devra être d'autant plus grande que la masse qu'elle tend à mouvoir est grande elle-même, et que l'espace $v$ qu'elle tend à faire parcourir dans l'unité de tems est grand. De sorte qu'on pourra l'estimer en multipliant la masse par la vitesse que la force tend à imprimer à cette masse.

On aura donc

$$F = Mv \quad \ldots\ldots \quad (11).$$

Nous nous réservons d'examiner ensuite le cas où le corps seroit animé tout à la fois d'un mouvement progressif et d'un mouvement de rotation. Jusqu'à ce moment, nous supposerons la masse du corps réduite ou concentrée au point d'application de la force, faisant abstraction de toute espèce de frottement.

## PROBLÈME V.

*Dans quel cas le mouvement d'un corps est-il uniforme et en ligne droite ; et alors comment, d'après la connoissance de la force qui agit sur ce corps, peut-on trouver l'espace parcouru dans un temps donné ?*

Solution. 1.° Lorsqu'un corps ne reçoit qu'une seule impulsion de la part d'une force qui aussitôt après cesse d'agir sur lui, le mouvement de ce corps ne peut être qu'uniforme et en ligne droite; car l'état d'un corps ne peut changer que par l'intervention d'une nouvelle force. Or ici, passé le premier instant, il n'existe plus de force. Donc le corps parcourra, au second, au troisième, etc., instant de son mouvement, un espace égal à celui qu'il a parcouru au premier de tous. D'où il suit que le mouvement est essentiellement uniforme.

De plus, il doit avoir lieu en ligne droite; car il est nécessairement rectiligne au premier instant, puisqu'une ligne courbe peut être considérée comme composée d'une infinité de très-petites lignes droites,

et que dans ce premier instant, le corps qui parcourt une de ces lignes droites doit continuer à se mouvoir dans la même direction, aucune cause n'étant supposée contrarier l'effet de la première force.

2.° Soit $e$ l'espace parcouru par le corps pendant le tems $t$, et $v$ la vitesse de ce corps. Puisque la vitesse d'un corps n'est autre chose que l'espace parcouru pendant l'unité de tems, il s'ensuit que ce corps parcourra autant de fois l'espace $v$ que le tems $t$ contient d'unités. Donc $vt$ sera la totalité de l'espace parcouru pendant le tems $t$. Mais cet espace, nous l'avons déja représenté par $e$;

Donc on aura

$$e = vt \quad \ldots\ldots \quad (12).$$

De là ce principe, que, *dans le mouvement uniforme, l'espace parcouru pendant un certain tems est égal à la vitesse multipliée par le nombre d'unités qui exprime ce tems.*

Remarque. Nous observerons ici que les diverses espèces de mouvement qui peuvent avoir lieu, sont toujours susceptibles d'être décomposées en mouvemens partiels ou élémentaires, uniformes et rectilignes. Pour cela, il suffit de partager le tems en élémens assez petits pour que, durant chacun de ces instans, la force puisse être regardée comme simultanée; ce qui doit rendre rectilignes les espaces parcourus, et uniformes les mouvemens considérés isolément durant chacun de ces mêmes instans.

## PROBLÈME VI.

*Etant donnée une force constante et invariable qui agit continuellement sur un corps, on demande l'espace qu'elle fera parcourir à ce corps pendant un tems déterminé.*

Solution. Soit $p$ l'espace que la force peut faire parcourir au corps pendant un instant $i$ infiniment petit; et considérons cette force comme donnant, au commencement de chaque instant, une impulsion dont l'intensité est constante.

D'après cela, la première impulsion donnée au corps fera parcourir à celui-ci un espace $p$ pendant l'instant $i$. Mais, à la fin de ce premier instant, une seconde impulsion fera parcourir un nouvel espace $p$; et comme cette seconde impulsion ne détruit pas l'effet de la première, il s'ensuit que, dans le second instant, le corps parcourra l'espace $p+p$ ou $2p$: de sorte qu'en comptant l'espace parcouru durant le premier instant, on aura $3p$ pour la totalité de l'espace parcouru depuis le commencement du mouvement, c'est-à-dire, durant $2i$.

Semblablement, l'espace parcouru en vertu de la troisième impulsion sera $p$, et en y ajoutant ceux parcourus en vertu des deux premières, on aura $p+2p$ ou $3p$ pour l'espace décrit pendant le troisième instant: de sorte que les espaces respectifs parcourus durant chacun des trois premiers instans seront $p$, $2p$, $3p$.

En continuant de la même manière, on auroit pour les espaces parcourus pendant chacun des instans successifs, la suite;

$$p \;\; 2p \;\; 3p \;\; 4p \;\; 5p \; \ldots\ldots \; np.$$

Maintenant, puisqu'on connoît l'espace parcouru durant chaque instant, il suffira de faire la somme de tous ces espaces pour avoir l'espace parcouru pendant la totalité de ces instans. La difficulté est donc ramenée à faire la somme de tous les termes d'une progression arithmétique.

Or, on sait que la somme des termes d'une pareille progression est égale à la moitié des deux termes extrêmes multipliée par le nombre de termes.

D'après cela, nommant $e$ la totalité de ces espaces, nous aurons,

$$e = \left(\frac{p+np}{2}\right) \times n = \frac{np}{2} \times (1+n).$$

Mais nous avons supposé infiniment petit l'instant $i$ pendant lequel la force donnoit une impulsion au corps. Outre cela, $n$ exprime le nombre de ces instans contenus dans le tems fini $t$; et comme une quantité finie peut être regardée comme la somme d'une quantité infiniment petite, prise un nombre de fois infiniment grand, il s'ensuit que $n$ est une quantité infiniment grande relativement à $i$.

Or, $1+n$ exprime un nombre d'instans $i$. Donc $n$ sera infini par rapport à 1, ou, ce qui est la même chose, 1 sera nul à l'égard de $n$.

La formule précédente deviendra donc

$$e = \frac{n^2 p}{2}.$$

Mais $n = t$.

Donc $e = \frac{t^2 p}{2}$ . . . . . . . . (13)

Si on veut dans cette formule faire entrer la vitesse, on observera que celle-ci varie à chaque instant. De sorte qu'en supposant l'unité de tems composée d'un nombre $m$ d'instans, il faudra pousser la progression précédente jusqu'au terme du rang $n+m$; chercher l'espace parcouru depuis le commencement jusqu'à l'instant qui, ajouté aux précédens donne $n$; ensuite celui parcouru après un nombre d'instans $n+m$; et la différence de ces deux espaces sera l'espace parcouru pendant un nombre d'instans $m$, ou pendant l'unité de tems; ce qui donne la vitesse du corps après un nombre d'instans $n$, ou au bout du tems $t$.

Supposant donc $m = 1$, nous aurons en faisant la somme de tous les termes de la progression jusqu'au terme du rang $n+m$ ou $n+1$, l'expression

$$\frac{(n+1)^2}{2} p = \frac{(n^2+2n+1)}{2} p.$$

Si de cette somme, on retranche $\frac{n^2 p}{2}$ qui est celle de tous les termes jusqu'à celui du rang $n$, on aura $\frac{(2n+1)p}{2}$, pour la différence cherchée, c'est-à-dire, pour la vitesse.

Mais ici, comme précédemment, on observera que $n$ étant la somme d'une infinité d'instans, 1 est nul relativement à $2n$: de sorte que la vitesse $v$ sera $\frac{2np}{2}$ ou $np$.

Or, nous avons supposé $n=t$.

Donc $v=pt$ . . . . . . . . . . . . . . . (14).

Multipliant cette équation par $t$, on aura $vt=pt^2$; et substituant cette valeur de $pt^2$, dans l'équation (13), on aura

$$e=\frac{vt}{2}. \ldots \ldots \ldots \ldots (15).$$

De là, on tire $v=\frac{2e}{t}$.

Or, dans le mouvement uniforme, on a $v=\frac{e}{t}$.

Donc ici la vitesse est double.

En comparant les espaces parcourus pendant un même tems, suivant un mouvement uniformément accéléré, et ensuite suivant un mouvement uniforme, on aura pour le 1.er, $e=\frac{1}{2}vt$ et pour le 2.e, $e=vt$.

Donc, *si un corps se meut uniformément en vertu d'une vitesse acquise au bout d'un certain tems par un mouvement accéléré, il parcourra dans un tems égal au premier, un espace double.*

L'équation $v=pt$ étant élevée au carré donne $v^2=p^2t^2$.

D'où on tire $t^2=\frac{v^2}{p^2}$.

Substituant cette valeur dans $e=\frac{t^2p}{2}$, il viendra $e=\frac{v^2}{2p}$; ce qui donne

$$v^2=2pe \text{ et } v=\sqrt{2pe} \ldots \ldots (16).$$

REMARQUE. Dans le mouvement uniformément retardé, la progression précédente dont chaque terme

représente l'espace parcouru pendant chaque instant successif du mouvement, exprimeroit des espaces successivement plus petits et seroit par conséquent décroissante. Or, quelle que soit la progression croissante ou décroissante, les sommes restent les mêmes. Donc les équations trouvées auroient encore lieu dans le mouvement uniformément retardé.

## PROBLÈME VII.

*On demande d'appliquer les formules du mouvement uniformément accéléré à la chute des corps obéissant à la pesanteur.*

Solution. On entend communément par *pesanteur* ou *gravité* cette force qui tend à faire mouvoir vers le centre de notre globe tous les corps placés à sa surface. Nous observerons que cette force est constamment la même, au moins pour des espaces peu distans les uns des autres, et qu'elle est indépendante de la quantité de matière que les corps renferment. Si les phénomènes relatifs à la pesanteur semblent contrarier cette dernière vérité, c'est la résistance de l'air qui, s'opposant à la chute des corps en raison de leur volume, empêche que ces corps tombent en tems égaux des mêmes hauteurs, comme la chose a lieu dans le vide.

Le *poids* d'un corps est la somme des efforts que la pesanteur exerce sur chaque molécule de la masse. On doit le regarder comme la résultante de tous les

efforts que la pesanteur exerce sur les molécules de cette masse; résultante qui doit passer par le centre des forces parallèles, qu'on nomme ici *centre de gravité.*

Le poids d'un corps s'estime ordinairement par un autre corps qui seroit capable de faire équilibre au premier, ou de détruire la somme des effets de la pesanteur sur toutes les molécules de sa masse. Ainsi, quand le poids d'un corps est égal à celui d'un autre, il faut que le nombre des molécules primitives soit le même dans les deux corps; ou, en d'autres termes, qu'ils aient une même quantité de matière, afin que la somme des efforts de la pesanteur dans l'un soit égale à la somme des efforts de la pesanteur dans l'autre.

D'où l'on voit que les effets de la pesanteur fournissent un moyen aussi simple que commode pour comparer les quantités de matière contenue dans tous les corps, et déterminer ensuite leur densité.

Les expériences faites sur la chute des corps ont démontré que, dans la 1.re seconde de tems, les corps parcouroient dans le vide 16 pieds anglais, et que les espaces parcourus dans chaque seconde successive étoient entr'eux comme la suite naturelle des nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6.

On a donc conclu que la gravité étoit une force constante, et que par conséquent la chute des corps donnoit lieu à un mouvement uniformément accéléré. Nous pouvons donc ici employer les formules du problème précédent.

Or, puisqu'un corps dans le vide parcourt 16 pieds durant la première seconde de sa chute, si dans la

formule $e=\frac{vt}{2}$, on fait $e=16$ pieds et $t=1''$, on aura $16=\frac{v}{2}$ et $v=32$ ; ce qui signifie qu'après la première seconde de sa chute, le corps aurait une vitesse capable de lui faire parcourir 32 pieds dans une seconde de tems, s'il se mouvait d'un mouvement uniforme.

La formule $v=pt$ donnera par la substitution des mêmes valeurs, 32 pieds $=p\times 1''$ ou $p=32$ pieds. Or, cette force reste la même dans tous les instans du mouvement. Donc nous pourrons substituer cette valeur dans l'équation $v=\sqrt{2pe}$; et nous aurons

$$v=8\sqrt{e} \ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

$$e=\frac{v^2}{64} \ldots\ldots\ldots\ldots (18).$$

## PROBLÈME VIII.

*Quel est l'effet que produit sur un corps, l'action instantanée d'une force dont la direction ne passerait point par le centre de masse de ce corps.* (Pl. I.)

Solution. Soit G le centre de masse du corps; A le point auquel est appliquée une force P agissant de A en L et dans la direction AL; et concevons une droite passant par les points A et G. Il peut arriver que la direction AL de la force P soit perpendiculaire (*fig.* 5) ou oblique (*fig.* 6), à la droite qui

joint le centre de masse G au point A d'application de la force. Examinons ce qui arrive dans ces deux cas.

Pour cela décomposons la force P qui est appliquée en A, en deux forces $\frac{1}{2}$ P et $\frac{1}{2}$ P. L'une de ces forces considérons-la comme la résultante de deux autres forces parallèles, dont l'une passerait par le point G, et l'autre par un point B placé sur le prolongement de AG, de manière à avoir BG$=$AG. Cette supposition peut toujours avoir lieu; car le point G doit être tellement disposé par rapport aux diverses molécules du corps, qu'il se trouve au milieu de toutes les droites qui uniraient les molécules deux à deux.

La décomposition de $\frac{1}{2}$ P, donnera (en nommant $x$ la force inconnue passant par G) AG : AB :: $\frac{1}{2}$P : $x$, ou 1 : 2 :: $\frac{1}{2}$ P : $x=$P. Mais la résultante doit être ici égale à la somme des forces composantes. Donc on aura $\frac{1}{2}$ P$=$P$-\frac{1}{2}$P. D'où il suit que la force appliquée en B sera représentée par $-\frac{1}{2}$P; ce qui signifie qu'elle agira en sens contraire de celle appliquée en A.

D'après cela, la force primitive P se trouve décomposée en ces trois forces, savoir : $\frac{1}{2}$ P, P et $-\frac{1}{2}$P, la 1.re appliquée en A; la 2.e en G; et la 3.e en B, mais agissant en sens contraire des deux autres.

La force P appliquée en G, fera mouvoir le centre de masse dans une direction parallèle à AL et dans le sens AL.

Quant aux deux forces $\frac{1}{2}$ P, et $-\frac{1}{2}$ P dont la résultante qui passe par le point G est nulle, elles ne sauraient produire aucun mouvement progressif. Mais elles tendront l'une et l'autre à faire tourner le corps

de gauche à droite autour d'un axe MN passant par le point G et mené perpendiculairement à la droite GA, ou au plan GAL qui, passant par le centre G de masse, renferme la direction AL de la force primitive.

Il est évident que, quant au mouvement de rotation, nous pouvons supposer la force $-\frac{1}{2}$P, transportée en A et agissant de A en L concurremment avec la force $\frac{1}{2}$P : de sorte que le mouvement de rotation sera produit par une force $\frac{1}{2}$P $+\frac{1}{2}$P ou P appliquée en A, agissant de A en L. La force de rotation sera donc exprimée par le moment P $\times$ AG.

Tout ce que nous venons de dire du mouvement progressif du corps a également lieu, quel que soit l'angle GAL que fait la direction de la force primitive P avec la droite AG, qui joint le point d'application de cette force au centre de masse. Mais le mouvement de rotation éprouve une altération plus ou moins grande, dès que l'angle GAL n'est plus droit.

En effet, dans ce cas, la force $\frac{1}{2}$ P ou AC (fig. 6) se décompose en deux autres : l'une AD perpendiculaire à AG contribuant au mouvement de rotation, et l'autre AE suivant AG, et tendant à pousser le centre G de G vers B, ou de B vers G suivant que l'angle CAG est aigu ou obtus.

Pour ce qui est de la force $-\frac{1}{2}$P, elle se décompose de même en deux autres BH et BK respectivement égales aux premières AD et AE. La force exprimée par BH se réunira à la force AD pour produire le mouvement de rotation ; tandis que la force BK qui agit de B vers G et qui est égale à la force AE, détruira celle-ci. On n'aura donc, pour produire la rotation, que la force représentée par AD+BH ou 2 AD.

Mais AC : AD :: 1 : sin. ACD ou sin. CAE,

et AC : AD :: $\frac{1}{2}$P : force suivant AD,

Donc si on fait ang. CAE $= g$, on aura :

$$AD = AC \times \sin. g, \text{ et force suivant}$$

$$AD = \tfrac{1}{2} P \times \frac{AD}{AC} = \tfrac{1}{2} P \times \frac{AC \sin. g}{AC} = \tfrac{1}{2} P \sin. g.$$

Donc la force qui produira la rotation sera

$$P \sin. g,$$

et le moment de rotation,

$$AG \times P \sin. g.$$

Concluons donc de tout ce qui précède que *quand une force excentrique et instantanée agit sur un corps, le centre de masse se meut comme si la force lui étoit immédiatement appliquée ; en même tems que le corps tourne autour de ce centre avec une force exprimée par la force primitive multipliée par sa distance au centre de masse, ou par la force primitive multipliée par sa distance au centre de masse, et par le sinus de l'angle que fait la direction de la force primitive avec la droite menée du point d'application de cette force au centre de masse, suivant que la direction de la force primitive est perpendiculaire ou oblique à la droite qui unit le point d'application au centre de masse.*

## PROBLÈME IX.

*On demande une équation qui fasse connoître la relation entre la vitesse angulaire d'un corps et la force qui la produit.* (Fig. 7.)

Solution. Soit G le centre de masse; A le point d'application de la force P qui produit la rotation, et A A', l'arc décrit par le point A pendant l'unité de tems.

Cela posé, nous savons que le moment d'une force résultante est toujours égal à la somme des momens des forces composantes. De sorte, que si nous rapportons les momens des forces à un axe mené par le centre G de masse et perpendiculaire au plan qui, passant par ce centre, contienne la direction de la force résultante, la somme de ces momens sera égale à celui de la résultante, c'est-à-dire, à $P \times AG$.

Il ne nous reste donc plus maintenant que de déterminer le moment de l'une des forces composantes, de répéter la même opération pour chacune d'elles, et d'en faire ensuite la somme.

Or, puisque les forces composantes doivent avoir des directions parallèles à celle de leur résultante; il est évident que le plan dans lequel se mouvra chaque molécule sera parallèle au plan GAA'P dans lequel se meut la résultante P. De sorte que la rotation aura lieu autour d'un axe MN passant par le centre G et mené perpendiculairement au plan GAA'P.

Concevons donc le corps partagé par une infinité

de plans perpendiculaires à l'axe de rotation MGN, distans l'un de l'autre de l'épaisseur d'une molécule $m$; et soit $gaa'p$ (fig. 8) l'un de ces plans.

La molécule $m$ placée en $a$, décrira l'arc $aa'$ dans l'unité de tems. Mais pour avoir la longueur de l'arc $aa'$, comparons cet arc à celui qui auroit l'unité pour rayon. Soit donc $cd$, ce dernier arc que nous représenterons par $v$, et qui deviendra l'expression de la vitesse angulaire de chaque molécule, et par conséquent de celle de tout le corps.

Les arcs semblables étant proportionnels aux rayons qui les ont décrits, on aura $aa' : cd :: ag : 1$.

D'où $aa' = cd \times ag$.

Mais $cd = v$;

Donc $aa' = v \times ag$.

Outre cela, une force est exprimée par le produit de la masse, par la vitesse qu'elle imprime à cette masse.

Donc nous aurons $p = m \times aa' = mv \times ag$.

Par conséquent le moment de cette force relativement à l'axe MGN sera

$$p \times ag = mv \times \overline{ag}^2.$$

Si, pour simplifier nous désignons par $x$, la distance d'une molécule à l'axe de rotation, nous aurons

$$p \times x = mvx^2.$$

Répétant la même opération pour chaque molécule, et employant la lettre caractéristique $\int$ pour remplacer le mot somme, on aura

$$P \times AG = \int . px = \int . mvx^2.$$

Mais $v$ est une quantité constante qui doit multiplier chaque partie de la somme; et il est indifférent de multiplier chaque partie d'une somme par une quantité pour ajouter ces produits, ou de multiplier la somme totale par la même quantité.

Donc $\int . m v x^2 = v \int . m x^2$.

Faisant encore AG=D, nous aurons enfin

$$P \times D = v \int . m x^2.$$

D'où $v = \frac{P \times D}{\int . m x^2}$ . . . . . . . . (19).

## PROBLÈME X.

*On demande une expression de la distance du centre spontané de rotation au centre de masse.* (Pl. 1, fig. 9.)

Solution. Supposons que la force P soit capable de faire parcourir l'espace GG′ au centre G de masse, pendant l'unité de tems. A mesure que le centre G parcourra GG′, le point A tournera autour du point G. De sorte que si pendant l'unité de tems l'arc décrit est AA′, le point A, en vertu de ce double mouvement, sera parvenu en A″ et aura par conséquent décrit l'axe AA″ dont le centre sera en O, c'est-à-dire, à l'intersection des deux positions qu'a la ligne GA au commencement et à la fin de l'unité de tems.

Ce point O est évidemment fixe durant ce mouvement. Car s'il n'y avoit eu que le mouvement de translation, le point O se fût trouvé en O′; mais le

mouvement de rotation qui se fait en sens contraire pour les points situés de l'autre côté du point G, l'a reporté en O sur le prolongement de AC; ou plutôt ce point soumis à deux mouvemens égaux et opposés n'a pas dû changer de place, et a demeuré réellement fixe pendant l'unité de tems. C'est ce point qu'on nomme *centre spontané de rotation.*

Maintenant on observera que les arcs semblables étant proportionnels à leurs rayons, on aura

$$OG' : CG' :: OO' : CD.$$

Or $OO' = GG'$ du moins très-sensiblement; de plus $OG' = OG$, $CG' = 1$ et $CD = v$.

Donc on aura $OG' = \frac{GG'}{v}$.

De sorte que si on représente par $u$ la vitesse progressive que reçoit le centre G de masse, on aura

$$OG = \frac{GG'}{v} = \frac{u}{v}. \quad \text{Mais } v = \frac{PD}{\int . m x^2}.$$

Donc $OG = \frac{u \int . m x^2}{PD}$.

Or $P = Mu$, M exprimant la masse du corps. Donc

$$\frac{u \int . m x^2}{PD} = \frac{u \int . m x^2}{M u D} = \frac{\int . m x^2}{MD}.$$

Par conséquent si on fait $OG = k$, on aura

$$k = \frac{\int . m x^2}{MD}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

## PROBLÈME XI.

*Connoissant les momens d'inertie d'un corps par rapport à un axe qui passe par le centre de masse, on demande de trouver ceux relatifs à l'axe qui, passant par le centre spontané de rotation, est parallèle au premier axe.*

Solution. Soit G le centre de masse, O le centre spontané de rotation de la force résultante P; O le centre spontané de rotation relatif à la force composante *p*; *g* le point d'intersection de l'axe MN, avec le plan *oap* suivant lequel se meut la force *p*. Soit enfin l'axe ZOX parallèle à l'axe MN, et auquel on doit rapporter les momens d'inertie.

Cela posé, en raisonnant pour l'axe ZX, comme nous l'avons fait en cherchant les momens de rotation relatifs à l'axe MN, on trouvera l'équation

$$P \times OA \text{ (fig. 9)} = v\int. m \times \overline{oa}^2.$$

Si dans cette expression on vouloit faire entrer les distances de chaque molécule à l'axe qui passe par le centre G de masse, ainsi que les distances de ce dernier centre au centre spontané de rotation, il faudroit joindre les points $g$ et $a''$ par une droite, et abaisser sur $oa$ la perpendiculaire $a''b$.

Alors on auroit

$$\overline{oa}^2 \text{ ou } \overline{oa''}^2 = \overline{ob}^2 + \overline{ba''}^2 = \overline{og}^2 + \overline{bg}^2 + 2go \times bg + \overline{ga''}^2 - \overline{bg}^2,$$

ou

$$\overline{oa''}^2 = \overline{og}^2 + \overline{ga''}^2 + 2go \times bg.$$

Donc

$$\int . m \times \overline{oa}^2 = \int (m.\overline{go}^2 + m\,\overline{ga''}^2 + 2m.go \times bg).$$

Mais $\int 2m.go \times bg = 2go \int . m \times bg$, à cause que $og$ exprime la distance des deux axes parallèles, distance qui reste constamment la même, dans un instant très-court, tel que nous l'avons supposé. Outre cela, nous savons que la somme des momens des masses relativement à un axe qui passe par le centre total de masse, est nécessairement nulle.

Donc on aura

$$\int . m \times bg = 0.$$

Et par conséquent

$$\int . m \times \overline{oa}^2 = \int m\,(\overline{go}^2 + \overline{ga''}^2).$$

Nommant donc $k$ la distance OG ou $og$ des deux axes; $x$, la distance variable d'une molécule à l'axe de rotation qui passe par le centre G de masse; et D', la distance du point d'application de la force résultante P au centre spontané O de rotation, nous aurons enfin l'équation de rotation

$$PD' = v \int m\,(k^2 + x^2). \quad \ldots \quad (21).$$

Nous observerons en finissant que dans le cas où le corps seroit assujéti à tourner autour d'un axe fixe, ce seroit à cet axe qu'on rapporteroit les momens d'inertie, et qu'alors $k$ exprimeroit la distance du nouvel axe à celui qui passeroit par le centre de masse.

## PROBLÈME XII.

*Quelles sont les causes qui tendent à changer l'axe de rotation?* (Pl. I, fig. 11.)

**Solution.** Soit P une force appliquée au point A d'un corps dont le centre de masse est G. La direction AB de la force P étant oblique à la droite GA, cette force se décomposera en deux autres forces, l'une AD perpendiculaire à AG, et qui seule contribuera au mouvement de rotation autour de l'axe OGO'; et l'autre AC qui tendra à pousser le centre G de masse suivant le prolongement de AG.

Maintenant supposons que les points E et K soient les centres de masse des parties du corps séparées par le plan GAP. La force représentée par AC se décomposera en un certain nombre de forces parallèles, et se distribuera dans toute la masse proportionnellement au nombre des molécules: de sorte que si le plan GAP partage le corps de manière que la somme des molécules placées à sa droite soit égale à celle des molécules situées à sa gauche, la force NK sera égale à la force EF.

D'après cela, on aura les momens $EF \times OG$ et $NK \times O'G$ qui tendent à déplacer l'axe de rotation OGO', en le faisant tourner autour de l'axe XGZ perpendiculaire au premier.

D'où il suit que si on vouloit que le mouvement de rotation eût toujours lieu autour du même axe OGO',

il faudroit distribuer les molécules à droite et à gauche du plan de rotation GAP, de manière à avoir EF $\times$ OG $=$ KN $\times$ O'G; et pour cela il faudroit non-seulement que les masses fussent égales à droite et à gauche du plan de rotation GAP, mais encore qu'elles fussent distribuées également des deux côtés.

Concluons donc *qu'un mouvement de rotation ne sauroit avoir lieu constamment autour d'un même axe, à moins que le plan mené par le centre de masse perpendiculairement à l'axe de rotation, ne divise le corps en deux masses égales, et distribuées de manière que les molécules égales se trouvent à égale distance des deux côtés par rapport à ce plan.*

## PROBLÈME XIII.

*On demande le moment de rotation d'un corps composé de masses hétérogènes ou de différentes densités, et soumis à l'action d'une force instantanée.* (Pl. I, fig. 12.)

SOLUTION. Soit G le centre de masse d'un système de corps A, B, C, etc., de différente densité. Soit $g$ le centre particulier de masse du corps A d'une densité uniforme, et XGY l'axe de rotation du système.

Cela posé, menons par le centre $g$ l'axe $xy$ parallèle à XY, et d'après ce qui précède cherchons le moment d'inertie du corps A; d'abord relativement à

l'axe $xy$ et ensuite par rapport à l'axe XY. Nous aurons $\int. m\ (x^2 + \overline{Gg}^2)$ pour l'expression de ce moment, $x$ représentant la distance d'une molécule de la masse A au centre $g$.

Raisonnant de la même manière pour les masses homogènes entr'elles, on auroit enfin l'équation de rotation

$$P \times D = \nu\,[\int. m\,(x^2 + \overline{Gg}^2) + \int. m'\,(x'^2 + \overline{Gg'}^2) + \text{etc.}] \quad (22)$$

dans laquelle P exprime toujours la force totale instantanée qui produit la rotation, et D la distance du point d'application de la force au centre total de masse.

## DU CHOC DES CORPS.

### PROBLÈME XIV.

*Connoissant les masses et les vitesses de deux corps durs se mouvant sur la même direction, on demande la force du choc et la vitesse de chaque corps après le choc.* (Pl. I.)

Solution. Soient A et B les masses de deux corps se mouvant sur la même droite MN. Soient $a$ et $b$ leur vitesse respective avant le choc, et $u$ leur vitesse commune après le choc. Supposons que les deux corps se meuvent dans le même sens, par exemple, de M vers N ; ce qui nécessite $a > b$, pour que les corps puissent se rencontrer. (*Fig.* 13.)

Les deux corps étant parfaitement durs, l'action du corps A sur le corps B doit avoir son effet dans un instant très-court. Après le choc, le corps A doit entraîner avec lui le corps B, et ces deux masses doivent se mouvoir ensemble avec une vitesse commune, de sorte que toute action réciproque de l'une sur l'autre doit cesser. Elles se meuvent donc comme si elles ne formoient qu'une seule masse. D'où l'on voit que la force qui produit le mouvement après le choc est exprimée par $(A+B)u$.

Mais le choc du corps A contre le corps B n'a pu détruire la force $Bb$ qui animoit ce dernier corps : au contraire, il a dû l'augmenter de la force $Aa$ qui faisoit mouvoir le corps A. Donc, après le choc comme avant, les forces qui produisoient le mouvement étoient exprimées par $Aa+Bb$.

Donc on aura

$$(A+B)u = Aa+Bb.$$

D'où $u=\frac{Aa+Bb}{A+B}$. . . . . . . . . . . (23).

Supposons maintenant que le corps B aille à la rencontre du corps A. Puisque deux forces égales et directement opposées se détruisent, il est évident que par le choc le corps B détruira dans le corps A une force exprimée par $Bb$, de manière que le corps A n'entraînera le corps B qu'avec une force exprimée par l'excès de $Aa$ sur $Bb$, ou $Aa-Bb$.

On aura donc alors

$$(A+B)u = Aa-Bb;$$

D'où $u=\frac{Aa-Bb}{A+B}$ . . . . . . . . . . . (24).

Si pour se faire une idée de la grandeur du choc, on vouloit connoître ce que chaque corps a gagné ou perdu de vitesse, il n'y auroit qu'à chercher les différences des vitesses avant et après le choc.

C'est ainsi que, dans le premier cas, on auroit pour le corps choquant A,

$$a - u = a - \frac{(Aa + Bb)}{A + B} = \frac{Aa + Ba - Aa - Bb}{A + B} = \frac{(Ba - b)}{A + B}$$

pour le corps choqué B,

$$u - b = \frac{Aa + Bb}{A + B} - b = \frac{Aa + Bb - Ab - Bb}{A + B} = \frac{A(a - b)}{A + B}.$$

Et dans le second cas, pour le corps A,

$$a - u = a - \frac{(Aa - Bb)}{A + B} = \frac{B(a + b)}{A + B}$$

et pour le corps B,

$$u + b = \frac{Aa - Bb}{A + B} + b = \frac{A(a + b)}{A + B}.$$

Nous aurons donc les formules suivantes

$$(25) \ldots \begin{cases} \text{vitesse perdue par le corps choquant A} \ldots\; a - u = \dfrac{B(a \mp b)}{A + B} \\ \text{vitesse gagnée par le corps choqué B} \ldots\; u \mp b = \dfrac{A(a \mp b)}{A + B} \end{cases}$$

Le signe $\mp$ ayant lieu suivant que les corps se meuvent dans le même sens ou qu'ils vont au devant l'un de l'autre; observant de plus que, dans ce dernier cas, la vitesse du corps B avant le choc est exprimée par $-b$.

## PROBLÈME XV.

***Etant données les vitesses et les masses de deux corps compressibles non élastiques, se mouvant sur une même droite, déterminer la force du choc, et la vitesse de chaque corps après le choc.*** (Pl. I, fig. 13.)

Solution. Les corps étant ici compressibles, doivent nécessairement changer de forme par un effet du choc. Il est évident que la compression doit être produite par le contact des molécules des deux corps, et avoir lieu dans la direction du mouvement, mais en sens contraire. Il est également aisé de voir que, suivant la force du choc, la compression sera plus ou moins grande, et que dans chaque masse il y aura plus ou moins de molécules dont la vitesse sera altérée.

Supposons donc que le nombre de molécules comprimées dans la masse A soit $nA$, $n$ étant une fraction; et que la vitesse que ces molécules ont conservée soit $x$. Comme les molécules restantes sont au nombre de $A - nA$, et qu'elles conservent leur vitesse primitive $a$, il est clair que la force qui, après le choc, anime le corps A, sera exprimée par $(A - nA)\,a + nA\,x$ ou par $Aa + nA\,(x - a)$.

Donc si nous représentons par $u$ la vitesse commune aux deux corps après le choc, nous aurons l'équation

$$Au = Aa + nA\,(x - a).$$

Raisonnant pour le corps B comme pour le corps A, exprimant par $n'B$ les molécules comprimées, et par $y$ la vitesse qu'elles ont après le choc, on aura

$$Bu = (B - n'B)\,b + n'By = B\,b + n'B\,(y - b).$$

Ajoutant ces deux équations, on aura

$$(A + B)\,u = Aa + Bb + nA\,(x - a) + n'B\,(y - b).$$

Maintenant j'observe que la force perdue par le corps A doit être égale à la force gagnée par le corps B. Or le corps A avant le choc étoit animé d'une force exprimée par $Aa$, et après le choc sa force n'étoit plus que $Aa + nA\,(x - a)$ ou $Aa - nA\,(a - x)$. Donc la force perdue par le corps A sera représentée par $Aa - Aa + nA\,(a - x)$ ou seulement par $nA\,(a - x)$. Semblablement la force gagnée par le corps B sera

$$Bb + n'B\,(y - b) - Bb \text{ ou } n'B\,(y - b),$$

Donc on aura

$$nA\,(a - x) = n'B\,(y - b),$$

et par conséquent

$$n'B\,(y - b) + nA\,(x - a) = o.$$

Donc l'équation ci-dessus deviendra

$$(A + B)\,u = Aa + Bb.$$

On trouveroit semblablement pour le cas où le corps B iroit au devant du corps A,

$$(A + B)\,u = Aa - Bb.$$

Donc, *dans le choc des corps compressibles non élastiques, la vitesse après le choc est la même que dans le choc des corps durs.*

## PROBLÈME XVI.

*Deux corps compressibles et élastiques de masses connues, se mouvant sur une même direction, on demande quelle sera la vitesse de chaque corps après le choc.* (Pl. I, fig. 13.)

Solution. Supposons que les corps A et B non seulement soient compressibles, mais encore élastiques, c'est-à-dire qu'ils aient la propriété de reprendre, après la compression, la forme qu'ils avoient avant cette compression. En vertu de cette propriété, l'espèce de ressort qui agit dans les corps pour les rendre à leur forme primitive doit exercer son action du côté qu'il éprouve le moins de résistance. Ce sera donc du côté opposé au contact des deux corps qu'il devra agir, et il agira avec une force égale à celle de la compression, si l'élasticité est parfaite.

Soit donc $v$ la vitesse du corps A après que l'élasticité a eu son entier effet. La force qui mouvra ce corps sera $Av$. Mais cette force doit être égale à celle du même corps A après la compression, moins celle que cette compression lui a ôtée.

Or $u$ est supposée la vitesse de A après la compression, $a - u$ est par conséquent la vitesse perdue par le corps A en vertu de la même compression. Donc $Au - A(a-u)$ sera la force restante après que le corps a repris sa première forme. On aura donc

$$Av = Au - A(a-u) \quad \text{ou} \quad v = 2u - a.$$

Quant au corps B, on aura semblablement, en nommant $v'$ sa vitesse finale, $v'=2u-b$, si ce corps va à la rencontre de A. Mais si au contraire il va dans le même sens, on aura $v'=2u+b$, parce que la force qui animera le corps B sera alors la somme de la force après la compression et de celle produite par l'effet de l'élasticité. Nous aurons donc

$$\left.\begin{array}{ll}\text{Pour le corps choquant} & v=2u-a\\ \quad\text{et} & \\ \text{Pour le corps choqué} & v'=2u\mp b\end{array}\right\}\ldots(26)$$

Le signe — étant pour le cas où le corps choqué va au devant de l'autre, et le signe + pour le cas contraire.

Dans le cas où l'élasticité ne seroit pas parfaite, il ne faudroit prendre qu'une certaine fraction de la force produite par la compression. Supposons donc qu'il n'y ait qu'une certaine portion $p$ de la force de compression, qui soit employée à rétablir la forme du corps. Dans ce cas, nous aurons

$$Av=Au-pA\,(a-u)$$

et

$$Bv'=Bu\mp pB\,(u-b);$$

d'où

$$\left\{\begin{array}{c}v=u\,(1+p)-pa\\ \text{et}\\ v'=u\,(1\mp p)\pm pb\end{array}\right\}\ldots\ldots(27)$$

DE L'ACTION DES FLUIDES SUR LES CORPS SOLIDES.

## PROBLÈME XVII.

*Déterminer quelle est dans tous les sens la pression qu'éprouve une molécule dans une masse fluide en repos.* (Pl. I.)

Solution. L'extrême finesse et la grande mobilité des molécules fluides portoit à croire que chacune d'elles éprouvoit dans tous les sens une égale pression, lorsque la masse fluide dans laquelle elle entroit étoit en repos. Car si les molécules environnantes ne l'avoient pas également pressée dans tous les sens, son extrême mobilité l'auroit fait échapper dans la direction de la plus foible pression; ce qui auroit détruit le repos de la masse.

On pourroit peut-être objecter que l'équilibre d'une molécule exige seulement qu'il y ait égalité entre les pressions directement opposées, et non que toutes les pressions qu'éprouve une même molécule soient égales. Chacun de ces deux cas satisfaisant aux conditions de l'équilibre, c'étoit à l'expérience à nous apprendre celui des deux qui avoit lieu. (*Fig.* 14.)

Pour cela, on a observé que dans un syphon ABC composé d'une branche verticale AC et d'une branche inclinée CB, l'eau qu'on y introduisoit s'élevoit constamment dans les deux branches à la même hauteur, après qu'elle étoit parvenue au repos.

Or, si nous supposons que le diamètre du syphon soit égal à celui d'une molécule fluide, il est évident que la molécule placée en C, c'est-à-dire, au point de communication des deux branches, doit se trouver également pressée dans les directions AC et BC : car autrement l'équilibre ne sauroit subsister. Mais la pression suivant AC est nécessairement égale au poids de la colonne fluide verticale AC. Donc la pression dans la direction oblique quelconque BC sera mesurée par le poids de la même colonne verticale AC.

Ce qui arrive dans le syphon doit avoir encore lieu quand on considère la molécule C faisant partie d'une masse fluide ; et la chose est aisée à apercevoir, en observant que l'extrême mobilité des molécules fluides laisse à celles-ci une certaine indépendance, et la liberté d'obéir à la moindre pression qu'elles éprouvent. Mais pour mieux s'en convaincre, soit LMNO une masse fluide en repos, n'étant soumise qu'à la seule action de la pesanteur; soit C une molécule dont il faut déterminer la pression dans tous les sens.

Si nous supposons que la masse LMNO devienne tout-à-coup solide sans changer de forme ni de volume, et qu'il ne reste fluides que les molécules composant les deux colonnes AC et CB, l'une verticale et l'autre oblique, il est clair que ce changement ne détruira pas l'équilibre dans les molécules restées fluides, et que la molécule C éprouvera dans les directions AC et BC la même pression qu'elle éprouvoit auparavant.

Concluons donc que *dans une masse fluide en repos et soumise à la seule action de la pesanteur, une molécule éprouve dans tous les sens une même*

*pression qui est égale au poids de la colonne fluide verticale posée au-dessus d'elle.*

## PROBLÈME XVIII.

*On demande la somme des pressions qu'éprouve dans une direction quelconque une surface plane rectangulaire sans mouvement, plongée dans un fluide en repos et soumis à la seule action de la pesanteur.* (Pl. I, fig. 16.)

Solution. Soit d'abord AB une ligne droite, ou plutôt une très-petite surface n'ayant qu'une largeur égale à celle d'une molécule fluide; soit HO le niveau du fluide.

Pour déterminer la pression verticale de ce fluide contre la petite surface AB, il faut concevoir des filets verticaux posés sur AB. Il est évident que la dernière molécule inférieure de chaque filet pressera AB avec une force exprimée par le poids du filet auquel elle appartient; et qu'il y aura d'autant plus de filets verticaux correspondans à AB, que les deux verticales extrêmes AA″, BB″ seront écartées l'une de l'autre, ou que A″B″ sera grand. Mais A″B″ est la projection de AB sur le plan horizontal.

Donc, *la pression qu'éprouve verticalement de haut en bas, de la part d'un fluide, une ligne droite ou une très-petite surface rectangulaire* AB, *augmente comme la projection horizontale de celle-ci*

Si maintenant on observe que les droites verticales correspondantes à AB diminuent en progression arithmétique de A vers B, et que les droites AA″ et BB″ sont les termes extrêmes de cette progression, on verra que pour avoir toute la pression verticale contre AB, il suffit de faire la somme de tous les termes d'une progression dont les extrêmes sont AA″, BB″, et dont le nombre de termes est la projection A″B″.

De sorte que si nous représentons par *m* la pesanteur spécifique du fluide, c'est-à-dire le poids de l'unité de volume, la *pression verticale contre* AB *sera*

$$\frac{m.\,A''B''}{2}\,(AA''+BB'').$$

Pour avoir la pression horizontale du fluide contre AB, concevez deux droites horizontales extrêmes AA′ et BB′. Il est évident qu'il correspondra à AB autant de filets horizontaux que l'épaisseur d'une molécule sera contenue dans la projection verticale A′B′ de AB.

Ici, il faut observer que chaque molécule inférieure d'un filet horizontal presse le point contigu de AB avec une force égale au poids du filet vertical qui lui correspond; que le nombre de filets horizontaux est exprimé par A′B′, et que les hauteurs extrêmes représentant les pressions des deux molécules extrêmes, sont AA″ BB″.

Donc la *pression horizontale contre* AB

$$=\frac{m.\,A'B'}{2}\,(AA''+BB'').$$

En raisonnant d'une manière semblable on trouveroit que la *pression perpendiculaire à* AB *seroit*

$$=\frac{m.\,AB}{2}\,(AA''+BB'').$$

*Et en général que la pression d'un fluide, suivant une direction quelconque, contre une surface plane rectangulaire n'ayant d'épaisseur que celle d'une molécule fluide, seroit exprimée par le poids d'un volume fluide, dont les trois dimensions seroient, l'épaisseur d'une molécule fluide, la moitié des deux verticales menées aux extrémités de la surface rectangulaire, et la projection de cette surface sur un plan perpendiculaire à la direction de la pression cherchée.*

Il est maintenant aisé de voir que, pour obtenir la pression verticale contre une surface plane ABCD rectangulaire dont les bases AD, BC sont horizontales, il n'y a qu'à considérer cette surface partagée en petits rectangles dont la largeur soit égale à celle d'une molécule : de sorte qu'en prenant l'expression ci-dessus autant de fois que la largeur d'une molécule peut être contenue dans AD, ou plutôt autant de fois qu'il y a des filets verticaux pesant sur AD, on aura la pression du fluide sur la totalité de la surface ABCD.

Ainsi, la *pression verticale contre* ABCD *sera* $= \frac{m. A''B''C''D''}{2} (AA'' + BB'')$, expression du poids du volume fluide ABCD A"B"C"D".

Semblablement la *pression horizontale contre la même surface sera* $= \frac{m. A'B'C'D'}{2} (AA'' + BB'')$; A'B'C'D' étant la projection de la surface ABCD sur un plan vertical :

Tandis que la pression perpendiculaire à la même surface ABCD sera $= \frac{m. ABCD}{2} (AA'' + BB'')$.

Maintenant si pour plus de simplicité on représente par A la surface du rectangle exposé à la pression du fluide; par $A'$, $A''$ et $A'''$ les projections respectives de A sur un plan horizontal et sur deux plans verticaux perpendiculaires l'un à l'autre; par $h$, la distance de la base inférieure à la surface horizontale du fluide, et par $h'$ celle de la base inférieure à la même surface horizontale, les formules se changeront en celles-ci :

(28)... Pression verticale contre $A = \frac{1}{2} m A' (h+h')$.
Pression horizontale contre $A = \frac{1}{2} m A'' (h+h')$.
Pression horizontale perp$^{re}$ à la précédente $= \frac{1}{2} m A''' (h+h')$.
Pression perpendiculaire sur la surface $A = \frac{1}{2} m A (h+h')$.

formules qui peuvent encore se simplifier. Pour cela nous menerons par le point B la perpendiculaire BE sur la verticale $AA''$, et faisant la hauteur verticale AE du rectangle $= H$, on aura $H = h - h'$, à cause de $AE = AA'' - A''E = AA'' - BB''$.

D'où on déduira $H + 2h' = h + h'$ ; et alors les formules précédentes se changeront en celles-ci :

(29).... Pression verticale contre la surface $A = m A' (\frac{1}{2} H + h)$.
Pression horizontale contre la même surface $= m A'' (\frac{1}{2} H + h)$.
Pression horizontale perp$^{re}$ à la précédente $= m A''' (\frac{1}{2} H + h)$.
Pression perpendiculaire à la surface $A = m A (\frac{1}{2} H + h)$

## PROBLÈME XIX.

*Un fluide se mouvant avec une vitesse donnée en grandeur et en direction, on demande l'action ou la pression qu'exerce ce fluide contre un élément horizontal d'une surface plane rectangulaire immobile, d'abord selon la direction du mouvement, et ensuite perpendiculairement à la surface.* (Pl. I, fig. 18.)

SOLUTION. Soit ABCD la surface plane rectangulaire plongée dans le fluide, et disposée de manière que la base AB ait une position horizontale. Soit AB*ba* le rectangle élémentaire horizontal sur lequel il s'agit de trouver l'action ou la pression du fluide. Enfin, soit *mn* l'intersection de la surface ABCD par un plan horizontal passant par la base de l'élément A*ab*B.

Pour simplifier nos recherches, nous supposerons que la direction du fluide soit horizontale, et que la hauteur A*a* du rectangle élémentaire soit égale à l'épaisseur d'une molécule fluide.

Supposons encore que le fluide se meuve suivant la direction horizontale EG perpendiculaire à la surface avec une vitesse capable de lui faire parcourir l'espace EG pendant l'unité de tems.

Cela posé, il faut observer que si une molécule placée à une profondeur *h* du niveau du fluide, se

mouvoit dans un canal avec une vitesse due à la hauteur $h$, elle n'exerceroit aucune pression; car ayant la liberté d'obéir à l'action de la force à laquelle elle est soumise, il ne paroît pas y avoir de raison pour que cette force exerce son action dans des directions autres que celle du mouvement. D'ailleurs l'expérience vient ici au secours du raisonnement; car si on perçoit latéralement un canal dans lequel couleroit de l'eau, en vertu seulement de sa gravité, on ne verroit aucune molécule aqueuse sortir par l'ouverture qu'on auroit faite.

Mais si le fluide, par une cause quelconque, ne pouvoit se mouvoir avec toute la vitesse due à sa distance $h$ au niveau du fluide : alors la portion de la force qui n'auroit point son effet presseroit cette molécule dans tous les sens, comme dans le cas du repos. D'après cela, si $x$ est la portion de la hauteur $h$ qui ait son effet, il restera une force représentée par $h-x$ qui pressera la molécule dans tous les sens possibles. Ici l'expérience est encore venue éclaircir ce que le raisonnement pouvoit avoir d'obscur. (*Fig.* 19.)

Pour cela, on a plongé successivement dans une eau immobile et dans une eau courante dont la vitesse étoit connue, un tuyau AB ouvert des deux côtés et dans lequel on avoit mis un flotteur *mnpq* surmonté d'une tige graduée. On a observé que ce tuyau étant plongé dans l'eau courante: le flotteur s'abaissoit d'une quantité due à la vitesse de l'eau. De sorte qu'alors les molécules correspondantes à l'orifice inférieur B ne supportoient plus qu'une pression due à l'excès de la profondeur $h$ des molécules,

sur la hauteur $x$ due à la vitesse du fluide. Il est évident que cette pression doit s'exercer dans tous les sens, comme dans le cas du repos ; car ne pouvant point avoir son effet, elle doit nécessairement être la même dans toutes les directions : et c'est aussi ce que l'expérience a démontré.

Concluons donc de ce qui précède, que la *pression qu'exerce dans tous les sens une molécule en mouvement, est exprimée par le poids d'un filet fluide qui auroit pour hauteur la distance de la molécule au niveau du fluide, si ce fluide étoit en repos, moins la hauteur qui seroit capable de produire la vitesse dont le fluide seroit animé, quelle que fût la direction de cette vitesse.*

Maintenant, puisque chaque molécule arrivant sur la face antérieure $mn$ voit sa vitesse détruite, et que de plus elle éprouve une pression due à la hauteur $h$, il s'ensuit qu'elle agira contre cette face avec une force égale au poids d'un filet fluide de la hauteur $h+x$.

Mais, à la face opposée, les molécules ne sont point gênées dans leur mouvement ; par conséquent la pression en ce sens qu'exercera chaque molécule sera due à la hauteur $h-x$ ; et comme cette pression est directement contraire à celle qu'éprouve la face antérieure, il faudra la soustraire de cette dernière. Chaque point de $mn$ éprouvera donc une action représentée par le poids d'un filet fluide de la hauteur $(h+x)-(h-x)$ ou $2x$.

Or le nombre de filets parallèles à la direction du mouvement est exprimé par la projection $mo$ perpendiculaire à cette direction. Par conséquent nom-

mant $p$ la pression qu'éprouve un élément horizontal d'une surface plane immobile de la part d'un fluide en mouvement, et dans la direction de ce mouvement, on aura

$$p = 2m. \overline{mn}\, x \ldots\ldots\ldots (30).$$

Il ne faudra plus que faire la somme des pressions sur chaque élément horizontal, pour avoir la pression totale qu'éprouve la surface plane rectangulaire ABCD. (*Fig.* 17.)

Déterminons à présent la pression qu'éprouveroit l'élément $mn$, si le fluide se mouvoit suivant la direction FG oblique à la surface, avec une vitesse FG due à la hauteur $x$.

Soit d'abord l'angle $mGF = i$. Si du point F, on abaisse une perpendiculaire FE sur la droite GE perpendiculaire elle-même à la surface, la vitesse FG sera décomposée en deux autres, l'une GE qui sera détruite par le choc, et l'autre EF qui aura son effet.

Or, si on représente la vitesse GF par $v$, on aura $EG = v \sin. i$ et $FE = v \cos. i$. Mais les carrés des vitesses sont comme les hauteurs qui leur sont dues (*probl.* 6, *form.* 16). Par conséquent on aura

$$v^2 : v^2 \sin.^2 i :: x : x \sin.^2 i\,;$$
$$\text{et } v^2 : v^2 \cos.^2 i :: x : x \cos.^2 i.$$

Cela posé, il est visible que chaque molécule presseroit la face antérieure de $mn$, avec une force due à la hauteur $h$, plus à la hauteur $x \sin.^2 i$. Mais chaque molécule conservant la vitesse due à la hauteur $x \cos.^2 i$, verra sa pression diminuée de cette quan-

tité. Elle ne pressera donc la face antérieure qu'avec une force égale au poids d'un filet fluide dont la hauteur seroit $h + x \sin.^2 i - x \cos.^2 i$.

De sorte qu'en multipliant le poids de ce filet ou $m\ (h + x \sin.^2 i - x \cos.^2 i)$, par le nombre de filets correspondans à l'élément, suivant une certaine direction, on auroit la pression qu'éprouve la face antérieure de cet élément suivant cette direction.

C'est ainsi qu'on auroit $m.\overline{mo}\ (h + x \sin.^2 i - x \cos.^2 i)$, pour la pression de la face antérieure de l'élément, parallèlement à la direction du mouvement;

$m.\overline{no}\ (h + x \sin.^2 i - x \cos.^2 i)$, pour la pression perpendiculaire à la direction du mouvement;

et $m.\overline{mn}\ (h + x \sin.^2 i - x \cos.^2 i)$, pour la pression perpendiculaire à la surface même.

Voyons ce qui se passe à l'égard de la face opposée de l'élément. Comme chaque molécule a ici la liberté de se mouvoir avec la vitesse due à la hauteur $x$, il s'ensuit que chacune d'elles ne conservera en tout sens qu'une pression due à la hauteur $h - x$. Mais cet effet est opposé à celui qui a lieu sur la surface antérieure; la pression résultante de deux molécules opposées sera due par conséquent à la hauteur

$$(h + x \sin.^2 i - x \cos.^2 i) - (h - x)$$
$$\text{ou } x\ (1 + \sin.^2 i - \cos.^2 i) = 2x \sin.^2 i,$$

à cause de $1 - \cos.^2 i = \sin.^2 i$.

De sorte que les pressions qu'éprouvera l'élément

$mn$ parallèlement et perpendiculairement à la direction du mouvement et à la surface, seront

$$\left.\begin{array}{l} 2\,m.\,\overline{mo}.x\sin.^2 i \\ 2\,m.\,\overline{no}.x\sin.^2 i \\ 2\,m.\,\overline{mn}.x\sin.^2 i \end{array}\right\} \cdots\cdots (31).$$

## PROBLÈME XX.

*On demande l'action qu'éprouve de la part d'un fluide en repos une surface plane rectangulaire qui se meut dans ce fluide, avec une vitesse donnée en grandeur et en direction.*

Solution. Soit, comme ci-dessus, $mn$ un des élémens horizontaux de cette surface, et supposons d'abord que le mouvement ait lieu perpendiculairement à la surface même, la vitesse étant due à la hauteur $x$, et $h$ exprimant toujours la distance d'une molécule au niveau du fluide en repos.

Il est d'abord évident que la face antérieure éprouvera de la part des molécules contiguës une pression proportionnelle à la hauteur $h$ de chacune; que de plus, la réaction du fluide sera égale et opposée à l'action que la surface exerce contre lui, ou à la vitesse de celle-ci; vitesse qui sera à la hauteur $x$. Par conséquent la face antérieure éprouvera de la part de

chaque molécule, une résistance exprimée par le poids d'un filet fluide dont la hauteur sera $h+x$.

Ce seroit ici le lieu d'avoir égard à la plus ou moins grande facilité de retraite des molécules; ce qui rend le fluide plus ou moins pénétrable et la résistance moins ou plus grande. Mais nous en parlerons ci-après.

Pour le moment, il s'agit de voir ce qui se passe à l'arrière de la surface.

D'abord les molécules dont la profondeur $h$ sera moindre que $x$ resteront plus ou moins à l'arrière de la surface.

Quant à celles dont la profondeur $h$ égalera $x$, c'est-à-dire, dont la vitesse sera égale à celle de la surface, elles accompagneront celle-ci sans la presser. Mais les molécules inférieures la presseront avec une force due à l'excès de $h$ sur $x$, c'est-à-dire, à la hauteur $h-x$; car ces molécules prenant la vitesse convenable à $x$, verront leur pression diminuée de $x$.

Outre cela, il est visible que les molécules placées verticalement au-dessous du vide n'éprouvant plus de haut en bas qu'une pression diminuée de $x$ ou représentée par $h-x$, tandis que les molécules environnantes lui transmettent une pression de bas en haut exprimée par $h$; il est visible, dis-je, que ces molécules inférieures auront un mouvement ascensionnel exprimé par $x$, indépendamment du mouvement horizontal dû à la hauteur $x$. Par conséquent la pression de chaque molécule sera diminuée de $2x$. Elle ne sera donc due qu'à la hauteur $h-2x$.

Retranchant $h-2x$ de $h+x$, on aura $3x$ pour la hauteur due à la résultante des pressions qu'exercent,

des deux côtés de la surface, les deux molécules correspondantes placées sur la même droite horizontale.

De sorte qu'on aura :

$$\left.\begin{array}{l}\text{Résistance perpendiculaire à l'élément } mn = 3m.\overline{mn}.x \\ \text{Résistance sous l'angle d'incidence } i.\ldots. = 3m.\overline{mo}.x\end{array}\right\}\ldots (32).$$

Venons-en au cas où la surface se meut suivant une direction GF qui fait un angle $mGF = i$, avec la surface. Alors la vitesse GF se décompose en deux autres, l'une GE perpendiculaire à la surface et l'autre FE parallèle à la même surface.

Or GF est due à la hauteur $x$ ; GE, à la hauteur $x \sin.^2 i$ ; et FE, à la hauteur $x \cos.^2 i$. Outre cela, la pression due à la hauteur $h$ s'ajoute à la réaction du fluide suivant EG.

Donc la pression d'une molécule sur la face antérieure ou *choquante* sera due à la hauteur . . . . . . $h + x \sin.^2 i$.

D'après cela, on aura les expressions suivantes :

$$(33) \left\{\begin{array}{l}\text{Pression perpendiculaire à l'élément } mn, \\ \quad \text{sur la choquante} \ldots\ldots\ldots\ldots = m.\overline{mn}(h + x \sin.^2 i). \\ \text{Pression sur la même face, sous l'angle } i = m.\overline{mo}(h + x \sin.^2 i). \\ \text{Pression perpendiculaire à la direction} \\ \quad \text{du mouvement} \ldots\ldots\ldots\ldots = m.\overline{no}(h + x \sin.^2 i).\end{array}\right.$$

Examinons maintenant la pression qu'exerce le fluide sur la face choquée. Il est d'abord évident, d'après ce que nous avons dit ci-dessus, que la surface fuyant les molécules placées à l'arrière avec une vitesse perpendiculaire due à la hauteur $x \sin.^2 i$, il n'y aura que les molécules ayant une vitesse due à

la hauteur $x$ sin.$^2$ $i$ ou plus grande que $x$ sin.$^2$ $i$, qui seront capables d'atteindre et de presser la surface arrière. Ainsi la profondeur du vide sera ici égale à $x$ sin.$^2$ $i$. Par conséquent les molécules placées verticalement au-dessous de ce vide ne seront plus pressées de haut en bas qu'avec une force due à la hauteur $h - x$ sin.$^2$ $i$. Donc, chaque molécule inférieure aura un mouvement ascensionnel exprimé par $x$ sin.$^2$ $i$. Mais de plus elle participe au mouvement de la surface, dont la vitesse est due à la hauteur $x$; par conséquent elle ne pressera plus qu'avec une force exprimée par $m\,(h - x - x\,\text{sin.}^2 i)$.

De sorte que si on exprime par $k$ la projection de l'élément rectangulaire horizontal, sur un plan perpendiculaire à la direction suivant laquelle on demande la pression du fluide sur l'élément, on aura

*Pression sur un élément horizontal de la surface arrière* $= m\,k\,(h - x - x\,\text{sin.}^2 i)$ . . . . (34).

Retranchant cette pression de celle qu'éprouve la surface choquante, on aura

*Résistance qu'éprouve l'élément horizontal d'une surface se mouvant sous un angle* i. . . . . . . . . .
$= m\,k\,x\,(1 + \text{sin.}^2 i + \text{sin.}^2 i)$.

Il est ici nécessaire d'observer que, dans tout ce qui précède, nous avons supposé que, chaque molécule fluide agissoit avec une entière liberté, et qu'après avoir choqué la surface qui se meut, elle n'étoit point gênée dans sa retraite. Mais il s'en faut bien que les choses se passent ainsi. Les molécules contiguës doivent être contrariées par les molécules placées en avant : de sorte que la plus ou moins grande facilité de retraite doit dépendre de la forme

du corps qui se meut, ainsi que des autres corps environnans. Voilà sans doute pourquoi un corps terminé en avant par un plan perpendiculaire à la direction du mouvement éprouve une plus grande résistance que s'il l'étoit par une proue demi-circulaire; et que dans un canal étroit les molécules opposent un plus grand obstacle au mouvement d'un corps, que dans un lac ou dans un espace très-étendu. Si une carène d'une forme et d'une surface bien continue et bien unie, a plus de facilité à fendre l'eau, il faut l'attribuer surtout à ce qu'elle donne aux molécules fluides plus de facilité pour se retirer; ce qui doit faire cesser plutôt l'action que ces molécules exercent sur la proue.

Quant à l'expression de cette facilité de retraite des molécules, je ne crois pas que dans l'état actuel de nos connoissances la théorie puisse la donner. C'est l'expérience surtout qu'il faut consulter pour cela: en attendant il nous suffira d'avoir aperçu les causes qui peuvent la faciliter.

Nous terminerons pourtant en observant que la résistance qu'un fluide oppose à un corps qui se meut dans ce fluide, est d'autant plus petite que les pressions des molécules fluides contre le corps en mouvement sont moindres, et que ces molécules ont une plus grande facilité de retraite.

De sorte que si $r$ exprimoit cette facilité de retraite, ou le nombre de directions suivant lesquelles chaque molécule pourroit s'échapper, on auroit pour l'expression finale de la résistance:

$$\frac{mkx}{r}(1+\sin.^2 i+\sin.^2 i') \quad . \; . \; . \; (35).$$

$i$ et $i'$ étant les angles que fait la direction du mouvement, avec les surfaces choquante et choquée.

# DES DIVERS ETATS DU VAISSEAU.

## DE L'ETAT DU VAISSEAU FLOTTANT SANS MOUVEMENT PROGRESSIF.

### PROBLÈME XXI.

*On demande les conditions que doit remplir, pour être en équilibre, un vaisseau flottant dans une eau tranquille.* ( Pl. II, fig. 21. )

Solution. Soit AHBFCED la carène d'un vaisseau dont AHBF soit la flottaison ; ABCD le plan longitudinal; HIFE le maître couple; AD l'étrave, et BC l'étambot

Concevons maintenant la carène partagée en tranches horizontales par des plans parallèles très-voisins les uns des autres, et ensuite en tranches verticales par des plans parallèles au maître-couple, très-rapprochés aussi les uns des autres. Soit LKOPRN une des tranches verticales, et *abcd* la portion de la surface extérieure de cette tranche, déterminée par

deux plans horizontaux voisins. Cette petite surface *abcd* peut être regardée comme plane et rectangulaire. Elle éprouve de la part des molécules d'eau qui lui sont contiguës une pression verticale de bas en haut exprimée par $m \times \frac{a'b'c'd'}{2} (aa' + dd')$; $a'b'c'd'$ étant la projection du rectangle *abcd* sur le plan horizontal de flottaison.

Or $\frac{a'b'c'd'}{2}(aa' + dd')$ est l'expression du volume du prisme tronqué *abcdd'a'b'c'*. Par conséquent, si on répète la même opération sur chaque rectangle élémentaire dont la surface extérieure de la tranche verticale est composée, la somme des pressions verticales de l'eau sur cette même tranche sera exprimée par le poids d'un volume d'eau égal au volume de la tranche.

De sorte que *la poussée totale et verticale de l'eau contre la carène d'un vaisseau flottant dans une eau calme, équivaut au poids d'un volume d'eau égal à la carène, c'est-à-dire, à la partie submergée du vaisseau.*

Quant à la direction de cette force résultante, il est évident qu'elle doit être verticale, et passer par le centre de volume de la carène; car, puisque cette force est la même pour la grandeur, que la résultante de la pesanteur de toutes les molécules fluides qui formeroient un volume à celui de la carène, il s'ensuit qu'elle doit passer par le même centre que cette résultante, c'est-à-dire, par le centre du volume d'eau déplacée.

Concluons donc que *la résultante des poussées*

*verticales de l'eau contre la carène d'un vaisseau sans mouvement passe par le centre de volume de cette carène.*

Mais le poids de la coque du vaisseau, de son gréement et de sa charge donne lieu à une nouvelle force verticale qui agit de haut en bas, et dont la direction passe par le centre de gravité total du système de poids dont le vaisseau est composé.

Il est donc nécessaire que cette force soit détruite par la première; ce qui ne peut arriver sans que ces deux forces soient égales et directement opposées.

*Il faut donc que le poids total du vaisseau armé soit égal à celui du volume d'eau déplacée, et que son centre de gravité se trouve sur la même direction verticale que le centre de volume de la carène, pour que l'équilibre puisse avoir lieu.*

Mais la pression perpendiculaire de l'eau sur le rectangle élémentaire *abcd* peut se décomposer en trois forces, l'une verticale que nous venons d'évaluer, et les deux autres horizontales, parallèles, l'une au plan longitudinal ABCD, et l'autre au maître couple ou plan diamétral EFIH. Déterminons chacune de ces forces, et voyons comment elles pourront se détruire.

Or la pression horizontale qu'éprouve le rectangle *abcd* parallèlement au maître couple, sera exprimée (prob. 18) par $\frac{m.A''}{2}(aa'+cc')$; A″ étant la projection de la surface *abcd* sur le plan longitudinal ABCD.

Mais la carène étant divisée en deux parties égales et symétriques par le plan longitudinal, on aura à la même profondeur, et de l'autre côté de ce plan, une

surface égale au rectangle *abcd*. De sorte que la pression horizontale que cette surface éprouvera sera égale et directement opposée à la première. Il en seroit de même par rapport aux pressions horizontales, parallèlement au plan longitudinal. Il est vrai qu'ici le maître couple ne divise pas la carène en deux parties égales et semblables ; mais la somme des projections des surfaces élémentaires des tranches horizontales de l'avant est égale à l'aire du maître couple, comme la somme des projections des rectangles élémentaires des tranches qui forment la poupe.

Nous conclurons donc que *quand un vaisseau est en équilibre dans une eau tranquille, toutes les pressions latérales se détruisent ;* que *le poids total du vaisseau est égal à celui de l'eau déplacée ;* et que *le centre de gravité de ce vaisseau se trouve placé sur la même droite verticale que le centre de volume de la carène.* La réciproque est aisée à apercevoir.

## PROBLÈME XXII.

*Un vaisseau flottant dans une eau tranquille, trouver sa* stabilité *autour de l'axe transversal, c'est-à-dire, la force qu'il a pour se relever des inclinaisons que pourroit lui faire prendre, de l'avant à l'arrière, une cause spontanée quelconque.* (Pl. II, fig. 22.)

Solution. Soit ABED la section de la carène, faite par un plan vertical passant par la quille, par le centre de gravité et par celui de volume de la carène, nommé *centre de déplacement.*

Soit AB la ligne primitive de flottaison, et supposons qu'en vertu de l'inclinaison que reçoit la carène, cette ligne de flottaison prenne la position *ab*. Il est aisé de voir que cette ligne *ab* étant nécessairement horizontale, la droite AB doit être oblique par rapport à l'horizon, et le vaisseau avoir reçu une inclinaison ou un mouvement de rotation de gauche à droite, c'est-à-dire, de la proue à la poupe.

Soit enfin G le centre de gravité du vaisseau; O, celui de déplacement avant l'inclinaison; et abaissons du centre G la perpendiculaire GK sur *ab*, laquelle sera par conséquent verticale.

Le volume de la carène, par un effet de l'inclinaison, change de forme; et comme, d'après la figure de cette carène, cette transposition de volume a lieu

du côté que le vaisseau plonge, il s'ensuit que le centre O de déplacement doit se transporter du même côté.

Soit donc *o* la nouvelle position du centre de déplacement qui auparavant étoit en *o*. Si nous élevons la perpendiculaire *o*ML sur *ab*, et que du point G nous menions la perpendiculaire GM sur L*o*, cette droite GM sera le levier à l'extrémité duquel agira la résultante de toutes les poussées verticales, parce que cette résultante passe par le centre *o* de déplacement, et que l'inclinaison se fait autour du point G.

Mais la résultante des poussées verticales est exprimée par le poids du volume de l'eau déplacée, ou par le poids total du vaisseau. Donc, si nous représentons par P ce poids total, $P \times GM$ exprimera la stabilité du vaisseau dans le sens longitudinal, ou les moyens qu'il a pour se relever de ses inclinaisons de l'avant à l'arrière.

Or, si nous pouvions décomposer la force totale P en un nombre quelconque de forces partielles, et avoir en même tems leur point d'application, il ne nous resteroit plus qu'à chercher les momens de ces forces relativement à un plan vertical passant par l'axe de rotation; plan dont la verticale GK exprime l'intersection avec le plan vertical mené par la quille DE.

Nous supposerons ici que la forme de la carène soit telle que le volume de cette carène qui sort de l'eau, soit égal à celui qui y rentre; car autrement le poids du volume d'eau déplacé seroit plus grand ou plus petit que le poids total du vaisseau; ce qui

occasionneroit dans le vaisseau un mouvement ascensionnel de bas en haut ou de haut en bas, jusqu'à ce que l'égalité entre ces deux poids eût encore lieu. On observera que, pour la transposition du centre de déplacement, il suffit qu'il y ait un changement de forme dans le volume d'eau déplacé.

Puisque nous connoissons le centre O, ou le point d'application des poussées verticales des molécules d'eau correspondantes à la projection ABED, tâchons de décomposer la force P, que, pour abréger, nous désignerons par *ab* ED (*), de manière que la force ABED en fasse partie.

Or *ab* ED = ABED + CB*b* — A*a*C; observant que ce n'est que pour simplifier que nous représentons les forces par les parties *ab* ED, ABED, CB*b*, AC*a*, qui sont les projections sur le plan vertical passant par la quille, des volumes d'eau déplacés.

Soient Q et R les centres des volumes correspondans aux projections AC*a* et BC*b*; les momens des forces partielles seront ABED × CT, BC*b* × CP et — AC*a* × CN.

Or les forces ABED, AC*a*, étant appliquées, la première au point O, la seconde, au point Q, et de plus agissant de bas en haut, tendent à incliner le

(*) Nous remplaçons dans tout ce calcul les poids des diverses parties de la carène par les volumes de ces parties, à cause que les forces de gravité étant proportionnelles aux poids, ceux-ci le sont aux masses ou aux volumes, lorsque les masses sont homogènes, c'est-à-dire d'une densité uniforme. D'ailleurs il seroit aisé de ramener, si on le vouloit, les volumes aux poids, en multipliant ces volumes par leur pesanteur spécifique qui est ici constante; ce qui conduiroit toujours à la même formule, à cause du facteur commun qu'on introduiroit, et qu'on pourroit supprimer ensuite.

vaisseau de la proue à la poupe, et par conséquent à favoriser l'inclinaison; tandis que les forces *ab* ED, et BC*b* tendent à la contrarier.

Mais le moment de la résultante par rapport à un plan est égal à la somme de ses forces composantes, en observant de soustraire les momens des forces qui tendent à contrarier l'effet de la résultante. On aura donc

$$abED \times CM = BCb \times CP - (ABED \times CT - ACa \times CN).$$

Or nous avons supposé que le volume d'eau déplacé étoit constamment le même.

Donc

$$ab\,ED = P = ABED.$$

Par conséquent

$$P \times CM = BCb \times CP + ACa \times CN - P \times CT.$$

Il nous reste maintenant à déterminer CT, et les momens $BCb \times CP$, $ACa \times CN$.

Pour cela, rappelons-nous que le moment d'une force résultante est la somme des momens de ses forces composantes, et concevons le volume de la carène correspondant à la projection BC*b*, divisé en tranches par des plans perpendiculaires à la flottaison, à la quille, et très-voisins les uns des autres.

Soient *kp* et *lq*, les intersections de deux de ces plans avec le plan longitudinal, ces intersections appartenant à la projection BC*b*. Soient encore deux autres intersections analogues *eh* et *fi*, pour la projection AC*a*.

Déterminons d'abord la hauteur de l'une de ces tranches élémentaires. Nous aurons

$$kp : Ck :: \sin. C : 1;$$

Donc

$$kp = Ck \times \sin. C.$$

Semblablement.

$$fi = Cf \times \sin. C.$$

Or, à cause du peu d'épaisseur qu'ont ces tranches, on peut prendre $Ck$ et $fC$ pour les distances respectives du centre de leur volume, au plan des momens.

Donc, si nous nommons $x$ la base de la tranche correspondante à $efih$, et $y$ celle de la tranche correspondante à $klqp$, nous aurons $x \times \overline{Cf}^2 \times \sin. C$ pour l'expression de l'un des momens partiels dont $ACa \times CN$ est la somme, et $y \times \overline{Ck}^2 \times \sin. C$ pour celle de l'un des momens partiels dont la somme est $BCb \times CP$.

De sorte que faisant la même opération pour toutes les tranches, désignant par $f. (x \times \overline{Cf}^2 \times \sin. C)$, et par $f. (y \times \overline{Ck}^2 \times \sin. C)$, les sommes de ces momens élémentaires, et représentant par V le volume de la carène, on aura

$$V \times GM = f. (x \times \overline{Cf}^2 \times \sin. C) + f. (y \times \overline{Ck}^2 \times \sin. C) - V \times CT).$$

Mais

$$CT = CX + XT; \; CX = GX \times \sin. C$$

et

$$XT = XO \times \sin. TOX = XO \times \sin. C;$$

Donc

$$CT = GO \times \sin. C.$$

Par conséquent

$$V \times GM = \int . \{ (x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2) \sin. C \} - V \times GO \times \sin. C.$$

Or sin. C est un facteur commun qui ne varie point pour une impulsion instantanée. Donc on aura enfin pour expression de la stabilité autour d'un axe diamétral perpendiculaire à l'axe longitudinal,

$$V \times GM = \sin. C \left\{ \begin{array}{l} \int . (x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2) \\ - V \times GO \end{array} \right\} \ldots (37)$$

D'où l'on tire

$$GM = \frac{1}{V} \sin. C \, [\int . (x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2) - GO ]. (38)$$

## PROBLÈME XXIII.

*Déterminer dans les inclinaisons de proue à poupe, pour un vaisseau qui est sans mouvement progressif, quelle doit être la hauteur du* métacentre, *c'est-à-dire, de la limite que le centre de gravité ne sauroit dépasser sans qu'il en résultât le renversement total du vaisseau.* ( Pl. II, fig. 23. )

Solution. D'après la formule (37), il est évident que la stabilité seroit nulle, si on avoit

$$GO = \frac{1}{V} \int (x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2);$$

et qu'elle seroit négative, si on avoit

$$GO > \frac{1}{V} \int (x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2).$$

Or, si la stabilité étoit nulle, ce seroit parce que le bras du levier GM seroit nul, ou que le centre de déplacement et le centre de gravité se trouveroient placés sur la même droite verticale; ce qui arriveroit si le centre de gravité G étoit en L, sur la verticale oL.

Mais, si OG augmente, c'est-à-dire, si le centre G de gravité passe au-dessus du point L, alors le centre O de déplacement se trouvera après l'inclinaison encore en deçà du plan de rotation, et la poussée totale de l'eau contribuera à renverser le vaisseau.

Donc le point L est la limite au-dessous de laquelle doit rester le centre de gravité, pour que le vaisseau ait de la stabilité. C'est à cause de cette propriété remarquable qu'on a donné à ce point le nom de *métacentre*.

Ainsi, on aura pour l'expression de la distance du métacentre au centre de déplacement de la carène :

$$LO = \frac{1}{V} \times \int (x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2) \quad . \; . \; (39).$$

## PROBLÈME XXIV.

*On demande l'expression de la stabilité et la hauteur du métacentre pour les inclinaisons que reçoit le vaisseau autour d'un axe horizontal et longitudinal, ce vaisseau n'ayant encore aucun mouvement progressif.* (Fig. 23.)

SOLUTION. En raisonnant comme pour l'avant-dernier problème, on obtiendra

$$V \times GM = ACa \times CN + BCb \times CP - ABD \times CT$$

et

$$V \times GM = ACa \times CN + BCb \times CP - V \times GO \times \sin. C.$$

Or, si nous observons que le plan GK des momens doit partager la largeur $ab$ de la flottaison en deux parties sensiblement égales, à cause du peu d'élévation du centre G de gravité au-dessus de la flottaison ;

si en outre nous concevons la carène divisée en tranches très-minces, toutes de la même épaisseur $e$, par des plans verticaux perpendiculaires à la quille, nous aurons

$$V \times GM = f.(ACa \times e \times CN + BCb \times e \times CP) - V \times GO \times \sin. C.$$

Mais $ACa = BCb$ du moins très-sensiblement; et de plus, à cause que $ACa$ peut être considéré comme un triangle, on a

$$CN = CP = \tfrac{2}{3} Ca = \tfrac{2}{3} AC.$$

Par conséquent

$$V \times GM = f.(2\ ACa \times e \times \tfrac{2}{3} AC) - V \times GO \times \sin. C.$$

Or

$$ACa = \tfrac{1}{2} AC \times Aa = \tfrac{1}{2} AC \times AC \times \sin. C$$
$$= \tfrac{1}{2} \overline{AC}^2 \times \sin. C.$$

Donc

$$V \times GM = f.(\tfrac{2}{3} \overline{AC}^3 \times e \times \sin. C) - V \times GO \times \sin. C.$$

Donc enfin on aura pour expression de la stabilité cherchée

$$V \times GM = \sin. C \{ \tfrac{2}{3} f.(e \times \overline{AC}^3) - V \times GO \} \ldots (40)$$

Pour déduire de cette formule le métacentre, on observera qu'au point L la stabilité est nulle; ce qui donnera

$$\tfrac{2}{3} f.(e \times \overline{Ac}^3) - V \times GO = o$$

ou

$$\tfrac{2}{3} \int . (e \times \overline{Ac}^3) - V \times OL = o.$$

On aura donc pour la distance du métacentre au centre de déplacement, dans les mouvemens de roulis ;

$$LO = \tfrac{2}{3} \frac{\int . e \times \overline{AC}^3}{V} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (41)$$

## PROBLÈME XXV.

*Faire l'examen des formules de la stabilité dans les mouvemens de tangage et de roulis, le vaisseau n'ayant aucun mouvement progressif, et en déduire des vérités utiles à la pratique.* (Pl. II, fig. 22 et 23.)

Solution. Nommant S la stabilité dans le tangage, et S′ celle dans le roulis, nous aurons à analyser les deux formules suivantes, qui ne sont autre chose que les formules 37 et 40, dans lesquelles on a multiplié les volumes par la pesanteur spécifique $m$ de l'eau :

$$S = m \sin. C \{ \int . (x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2) - V \times GO \}$$

$$S' = m \sin. C \{ \tfrac{2}{3} \int . (e \times \overline{CA}^3) - V \times GO. \}$$

Si nous observons que $x$ et $y$ expriment des rectangles élémentaires de la flottaison parallèles à la

largeur du vaisseau, auxquels on peut supposer une hauteur commune $e$, alors $x$ et $y$ ne représenteront plus que les bases de ces rectangles ou les largeurs du vaisseau à la flottaison. De sorte qu'on aura à comparer les deux formules :

$$S = m \sin. C \left\{ \int. e\left(x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2\right) - V \times GO \right\}$$

$$S' = m \sin. C \left\{ \tfrac{1}{3} \int. \left(e \times \overline{AC}^3\right) - V \times GO. \right\}$$

Il est d'abord facile de voir que plus V sera grand, plus la quantité dont on diminuera la stabilité sera grande. De sorte que *le déplacement devenant plus grand, la stabilité diminueroit, si le vaisseau conservoit la même longueur, les mêmes largeurs à la flottaison, et que la distance du centre de gravité à celui de déplacement restât la même.*

Elle diminueroit aussi dans le cas où GO augmenteroit.

*Il sera* donc *avantageux de rapprocher le centre de gravité de celui de déplacement, en abaissant les poids du vaisseau; ou bien, en élevant le centre de déplacement; ce qui se fait en augmentant l'acculement des varangues, et tenant le vaisseau plein vers la flottaison; ou bien encore, par la réunion de ces deux moyens*

Maintenant j'observe que $e$ exprime dans les deux formules l'épaisseur de chaque tranche. Or plus $e$ sera grand, plus le vaisseau sera long. *La longueur du vaisseau contribue* donc *à augmenter la stabilité*, parce qu'elle augmente les longueurs des flottaisons.

Il faut cependant remarquer ici que les quantités $Cf$ et $Ck$ sont chacune la somme des épaisseurs de toutes les tranches, depuis le plan des momens, et que d'une tranche à l'autre ces quantités augmentent chacune de $e$. De sorte que, pour la tranche consécutive, $\overline{Cf}^2$ deviendra $(Cf+e)^2 = \overline{Cf}^2 + 2\, e \times Cf + e^2$.

D'où l'on voit que *l'augmentation de longueur en produira une très-grande pour la stabilité dans le tangage, et une beaucoup moins grande dans le roulis.*

Quant aux largeurs, on observera que dans la première formule elles sont $x$ et $y$, c'est-à-dire élevées seulement à leur première puissance; tandis que dans la seconde elles sont représentées par $\frac{2}{3}$ AC, où AC se trouve élevé au cube.

*L'augmentation des largeurs de la flottaison produira donc une plus grande augmentation de stabilité dans le roulis que dans le tangage.*

Il est très-important d'observer ici que *si l'augmentation de volume, la surface de la flottaison restant la même, diminue la stabilité, elle contribue à l'augmenter, quand cette augmentation de volume se fait vers la partie de la carène qui peut sortir de l'eau et s'y plonger par un effet des inclinaisons :* car alors cette augmentation de volume concourt à augmenter les flottaisons, dont l'influence sur la stabilité est si grande.

*La stabilité augmentera* donc *beaucoup par l'augmentation de la partie de la carène, que les inclinaisons peuvent faire sortir de l'eau, et par*

*la diminution de volume dans la partie qui est toujours submergée.*

On verra aussi que *pour la stabilité dans le tangage, il y a plus à gagner d'augmenter les largeurs des flottaisons vers les extrémités que vers le milieu.*

---

## DE L'ÉTAT DU VAISSEAU AYANT UN MOUVEMENT PROGRESSIF.

---

### PROBLÈME XXVI.

*On demande quelle est dans les routes directes la résistance de l'eau contre la carène du vaisseau, dans le sens de la quille, ensuite perpendiculairement au plan longitudinal, et enfin verticalement.* (Pl. II, fig. 24.)

Solution. Concevons la carène du vaisseau partagée en tranches horizontales par des plans très-voisins les uns des autres, et ensuite en tranches verticales par des plans perpendiculaires au plan longitudinal.

Soit ADBE une des sections horizontales, que l'on transformera aisément par la pensée, en tranche horizontale, en lui donnant l'épaisseur déterminée par la distance des plans. Soit DE l'intersection du plan

du maître couple par le plan horizontal, et AB l'intersection du plan longitudinal par le même plan horizontal ADBE; concevons encore deux plans parallèles entr'eux et perpendiculaires au plan longitudinal, dont les intersections avec le plan horizontal ADBE soient les droites *ag* et *bh*, assez voisines pour que l'arc *ab* puisse être pris sans erreur sensible pour une droite, et la surface dont *ab* est la base, pour une surface plane.

Enfin, après avoir mené des points *a* et *b*, parallèlement à AB, les droites *ac* et *bd*, occupons-nous de déterminer l'action que l'eau exerce parallèlement et perpendiculairement à AB, sur les élémens de surface *ab* et *dc* que pour plus de simplicité nous considérerons comme des lignes droites, ainsi que la poussée verticale de l'eau contre les mêmes élémens.

Or (form. 33) l'action de l'eau sur l'élément *ab*, suivant une direction parallèle à AB est exprimée par $m \times ef(h + x \sin.^2 i)$ et celle sur l'élément correspondant *cd*, placé à l'arrière, par

$$m \times ef(h - x - x \sin.^2 i'),$$

(ayant $i =$ ang. *bae* et $i' =$ ang. *dce*).

Par conséquent (prob. 20) la pression sur la totalité du rectangle dont *ab* est la base sera exprimée par

$$m \times ef(\tfrac{1}{2}\text{H} + h + x \sin.^2 i)$$

ou

$$m \times ef(\text{D} + x \sin.^2 i),$$

faisant $\frac{1}{2}\text{H} + h = \text{D}$.

Retranchant la seconde expression, de la première,

et représentant par R″ la résistance de l'eau sur l'élément $ab$ de la proue, parallèlement à la route AB que suit le vaisseau, on aura

$$R'' = \frac{m \times \overline{ef}}{r} x \,(1 + \sin.^2 i + \sin.^2 i') \quad . \; . \; (42).$$

Faisant une semblable opération sur chaque élément de la même demi-tranche horizontale, indiquant par

$$\int \frac{m.\overline{ef}}{r} x \,(1 + \sin.^2 i + \sin.^2 i'),$$

la somme de toutes les résistances partielles qu'éprouve cette demi-tranche; et par R′, la résistance totale ou la résultante de toutes les résistances partielles contre la demi-tranche, on trouvera

$$R' = m. \int \frac{\overline{ef}}{r} x \,(1 + \sin.^2 i + \sin.^2 i') \quad . \; . \; (43).$$

Et comme dans les vaisseaux bien construits, le plan longitudinal divise la carène en deux parties égales et symétriques, il s'ensuit qu'il ne faudra plus que doubler R′ pour avoir la résistance contre la tranche entière, et faire un semblable calcul pour chaque tranche, afin d'obtenir la résistance contre la carène. C'est pourquoi, représentant par R la somme des résistances contre toutes les tranches de la demi-carène, et employant la même lettre caractéristique $\int$ pour désigner une somme à former, on aura enfin

$$R = m \int \left\{ \int . \frac{\overline{ef}}{r} x (1 + \sin.^2 i + \sin.^2 i') \right\} \quad . \; . \; (44).$$

Il s'agit maintenant de déterminer les résistances latérales qu'éprouve une même tranche horizontale.

Pour cela, menons des points *c* et *d*, les perpendiculaires *cl*, et *dm* sur AB, et représentons par P″ la force qui résulte de l'action de l'eau sur un des élémens correspondans *ab* de la proue; par *p″*, la force analogue sur un des élémens *cd* de la poupe; par P′ et *p′* la somme des forces latérales qu'éprouve une même tranche horizontale de la proue et de la poupe; et enfin par P et *p* la résistance latérale et totale de la proue et de la poupe.

Cela posé, en raisonnant comme ci-dessus, et appliquant celle des formules (33) qui convient aux forces horizontales et latérales, on aura

$$(45)\ \ldots\begin{cases} P'' = \dfrac{m \times ki}{r}(h + x\sin.^2 i); \\ P' = m\int \dfrac{ki}{r}(h + x\sin.^2 i); \\ P = m\int\{\int \dfrac{ki}{r}(h + x\sin.^2 i)\} \end{cases}$$

et

$$(46)\ \ldots\begin{cases} p'' = \dfrac{m \times no}{r}(h - x - x\sin.^2 i'); \\ p' = m\int.\dfrac{no}{r}(h - x - x\sin.^2 i'); \\ p = m\int.\{\int \dfrac{no}{r}(h - x - x\sin.^2 i'\}. \end{cases}$$

Il est maintenant aisé de voir que les résistances contre les élémens correspondans *gh* et *lm* de l'autre demi-tranche seroient respectivement égales à celles qu'éprouvent les élémens *ab* et *cd*; et comme ces

forces se trouvent directement opposées, il s'ensuit qu'elles se détruisent.

Il ne nous reste donc plus qu'à déterminer les poussées verticales de l'eau contre la carène. Soit pour cela $Q''$ la poussée verticale qu'éprouve un rectangle élémentaire de la proue, par exemple, celui correspondant à *ab;* $Q'$ la somme des poussées contre une tranche horizontale DAE de la proue, et Q la totalité des poussées contre la proue entière.

Soit aussi $q''$, $q'$ et $q$ pour la poupe, des expressions analogues à celles que nous venons de désigner pour la proue.

Si nous considérons les arcs *ab* et *cd* comme les projections horizontales des rectangles élémentaires de la tranche correspondans à ces arcs, nous aurons, d'après les mêmes formules du n.° 33,

$$(47)\ldots\begin{cases} Q''=\frac{m\times ab}{r}(h+x\sin.^2 i); \\ Q'=m\int.\frac{ab}{r}(h+x\sin.i); \\ Q=m\int.\{\int.\frac{ab}{r}(h+x\sin.^2 i)\}. \end{cases}$$

et

$$(48)\ldots\begin{cases} q''=\frac{m\times cd}{r}(h-x-x\sin.^2 i'); \\ q'=m\int.\frac{cd}{r}(h-x-x\sin.^2 i'); \\ q=m\int.\{\int.\frac{cd}{r}(h-x-x\sin.^2 i')\}. \end{cases}$$

## PROBLÈME XXV.

*Comment trouveroit-on l'expression des forces déterminées dans le problème précédent, si le vaisseau suivoit une route oblique ? (* Pl. II, fig. 25. *)*

Solution. Soit ADBE une des sections ou des tranches horizontales de la carène, et CF la direction de la route oblique du vaisseau. La première opération à faire est de déterminer la partie choquante et la partie choquée de la tranche. Pour cela, on menera à la courbe qui forme la section horizontale, deux tangentes KI et LH parallèles à la direction CF de la route. La partie IAH de l'avant, comprise entre les deux points I et H de contact, sera celle qui ira au devant du choc, et devra être considérée comme la partie choquante. Quant à l'autre partie IBH de l'arrière, terminée aux deux mêmes points, elle fuira le choc de l'eau, et sera la partie choquée de la tranche.

Les projections des surfaces pour les forces opposées au mouvement progressif, on les déterminera sur un plan perpendiculaire à la direction CF de la route, ou mené par la droite MI qui mesure la distance des deux tangentes parallèles extrêmes IK et HL.

Pour ce qui regarde les projections des surfaces dans la détermination des forces latérales, on les prendra sur un plan vertical parallèle à la direction de

la route, plan dont la droite FCO est l'intersection avec la section ADBE.

Le reste de l'opération se feroit comme dans le problème précédent.

Il est facile d'apercevoir ici, par la seule inspection de la figure, 1.° que la somme des projections des surfaces, dans la détermination des forces parallèles à la route, est représentée par MI plus grand que DE somme des projections dans la route directe; ce qui doit rendre les résistances plus grandes dans les routes obliques; 2.° que le plan suivant FCD, et qui passe par le centre de gravité du vaisseau, ne partageant pas la carène en deux parties égales et symétriques, les forces latérales ne doivent pas se détruire comme il arrive dans les routes directes.

## PROBLÈME XXVIII.

*Quels sont les mouvemens de rotation que l'action de l'eau sur la carène tend à imprimer au vaisseau?*

Solution. Nous avons déja vu (probl. 8) que toutes les fois qu'une force agit sur une masse quelconque suivant une direction qui ne passe point par le centre de masse, il en résulte pour ce centre un mouvement progressif, comme si la force lui étoit immédiatement appliquée, et pour le corps un mouvement de rotation proportionnel à la grandeur de la force et au bras du levier dont la longueur seroit la distance du centre de masse à la direction de la force.

D'après cela, la force ou l'action de l'eau qui s'oppose au mouvement progressif du vaisseau, tend à produire en même tems un mouvement de rotation autour d'un axe horizontal passant par le centre de gravité du vaisseau, mouvement qui tend à faire élever ou abaisser la proue, suivant que la direction de cette force résultante se trouve située au-dessus ou au-dessous du centre de gravité.

Quant à la force horizontale qui est perpendiculaire à la route, il faut qu'elle soit la résultante de forces égales et directement opposées, c'est-à-dire qu'elle soit nulle; ou bien le centre de gravité tendroit à se mouvoir perpendiculairement à la route avec une force égale à la différence entre les forces horizontales qui agissent à droite et à gauche de la direction que suit dans son mouvement le centre de gravité.

Mais en même tems il en résultera un mouvement horizontal de rotation autour de l'axe vertical qui passe par le centre de gravité du vaisseau, et ce mouvement dépendra, pour sa grandeur et sa direction, de la différence entre les momens des forces latérales de l'avant et ceux des forces latérales de l'arrière.

Enfin, les poussées verticales de l'eau tendront à donner un mouvement vertical ascensionnel au centre de gravité, et à produire un mouvement horizontal de rotation de l'avant à l'arrière ou de l'arrière à l'avant, suivant que les momens des poussées verticales en avant du centre de gravité seront plus grands ou plus petits que ceux des forces verticales qui agissent à l'arrière du même centre.

Nous reviendrons bientôt sur ce sujet.

## PROBLÈME XXIX.

*Déterminer l'influence de la forme de la carène sur les résistances que celle-ci éprouve de la part de l'eau, et sur les mouvemens de rotation qui en résultent.*

SOLUTION. Reprenons les formules trouvées ci-dessus, et leur examen nous conduira nécessairement à la solution, sinon rigoureuse, au moins approchée, du problème.

Or, nous avons,

*Action de l'eau sur une tranche horizontale de la carène dans la direction opposée à la route*

$$= m \int K x \left(1 + \sin.^2 i + \sin.^2 i'\right).$$

*Action latérale sur la partie avant d'une tranche horizontale*

$$= \pm m \int K' \left(D + x \sin.^2 i\right).$$

*Action latérale sur la partie arrière d'une tranche horizontale*

$$= \pm m \int k' \left(D - x - x \sin.^2 i'\right).$$

*Poussée verticale sur la partie avant d'une tranche horizontale*

$$= m \int K'' \left(D + x \sin.^2 i\right).$$

*Poussée verticale sur la partie arrière d'une tranche horizontale*

$$= mfk''(D - x - x \sin.^2 i').$$

Il est d'abord évident que la diminution de l'angle $i$ que fait la direction de la route avec chaque surface élémentaire d'une tranche de carène, rendra $\sin.^2 i$ beaucoup plus petit ; ce qui diminuera l'action de l'eau sur la partie choquante dans quelque sens qu'on la considère. De sorte que *des lignes d'eau plus fines doivent diminuer les effets de l'eau sur la partie choquante de la carène.*

Quant à la partie choquée, on verra que l'angle $i'$ diminuant, la quantité qu'on retranchera de D sera plus petite, et par conséquent la différence plus grande. Mais cette différence doit être soustraite de la force qui agit de l'avant à l'arrière : donc l'action résultante en deviendra plus petite. On observera seulement que sin. $i$ et sin. $i'$ étant des fractions, $\sin.^2 i$ et $\sin.^2 i'$ seront de nouvelles fractions encore beaucoup plus petites ; et comme les sinus varient bien moins que les arcs, il s'ensuit qu'*un petit changement dans le degré de courbure des lignes d'eau ne doit en produire qu'un très-petit dans les résistances que l'eau oppose.*

Mais la quantité qui influe le plus sur l'augmentation des résistances est la projection de chaque surface sur le plan perpendiculaire à la direction de ces résistances.

*Voilà pourquoi la surface du maître couple, celle du plan longitudinal et celle de la flottaison doivent avoir une bien plus grande influence sur*

*les résistances qu'éprouve la carène, que les variations de courbure des lignes d'eau.*

D'après cela, les tranches horizontales de la carène doivent éprouver une résistance horizontale moindre, à mesure qu'elles s'abaissent, par la raison que non seulement leurs projections, mais encore les courbures des lignes d'eau diminuent.

Feu M. Romme, professeur distingué de marine, a fait à Rochefort des expériences d'après lesquelles il a conclu qu'en ne s'écartant pas trop de la forme ordinaire qu'on donne à la carène des vaisseaux, on pouvoit, sans augmenter les résistances, remplacer chaque ligne d'eau par un quadrilatère formé par les cordes des quatre arcs de ces courbes compris entre le plan longitudinal et celui du maître couple ; ce qui simplifioit beaucoup la formule qui exprimoit la résistance de l'eau contre chaque tranche horizontale de la carène.

En attendant que des expériences plus en grand et répétées un plus grand nombre de fois viennent nous éclairer sur ce point délicat et important, nous nous en tiendrons aux formules précédentes qui s'accordent assez bien avec les expériences déjà faites.

Quant à la grandeur des mouvemens de rotation, on sait qu'elle dépend de deux causes ; savoir, de la grandeur de la force, et de la distance de cette force à l'axe de rotation. D'après ce principe il sera aisé de conclure :

1.° Qu'une proue fine vers le bas, une poupe ayant peu de façon, une flottaison large vers son extrémité antérieure, et étroite vers la poupe contribueront beaucoup à augmenter les mouvemens d'inclinaison

de l'avant à l'arrière, et dans le cas contraire ceux de l'arrière à l'avant.

2.° Que les mouvemens autour de l'axe vertical deviendront plus grands, si le centre de gravité du vaisseau est beaucoup en avant du milieu, et si la proue a plus ou moins de façons que la poupe. De sorte que ces mouvemens seroient beaucoup diminués en plaçant le centre de gravité à peu près au milieu, et en mettant très-peu de différence entre les façons de l'arrière et celles de l'avant.

## PROBLÈME XXX.

*Déterminer la force d'impulsion du vent sur une voile assez tendue pour pouvoir être considérée comme une surface plane.*

Solution. L'action du vent sur une surface est l'effet du mouvement d'une colonne d'air qui tend à se mettre en équilibre. L'impulsion du vent sur la voile au premier instant se réduit au choc d'un fluide mobile contre une surface en repos, et doit être déterminée d'après la formule 31.

Représentant donc par X la hauteur due à la vitesse du vent, par H la hauteur de l'atmosphère depuis le vaisseau, et par I l'angle d'incidence du vent sur la voile, la pression de chaque molécule d'air sur cette surface sera due à la hauteur $2\,X \sin.^2 I$.

Or ici où la hauteur de la voile est infiniment petite par rapport à celle de l'atmosphère, on peut considérer comme égales les pressions provenant de

la hauteur H. De sorte que multipliant $2\,X\,\sin.^2 I$ par le nombre de filets fluides qui agissent contre la voile dans telle ou telle direction, le poids d'une pareille colonne fluide exprimera l'action du vent sur la voile suivant la même direction.

Soit donc B la surface de la voile, B′ la projection verticale de cette surface perpendiculairement à la direction de la route du vaisseau, B″ la projection verticale parallèle à la route, et B‴ la projection horizontale. Employant les lettres L, M, N, pour représenter les chocs respectifs du vent contre une voile, et désignant par $n$ la pesanteur spécifique de l'air, on aura :

$$(49) \ldots \begin{cases} L = 2\,n\,B'\,X\,\sin.^2 I. \\ M = 2\,n\,B''\,X\,\sin.^2 I. \\ N = 2\,n\,B'''\,X\,\sin.^2 I. \end{cases}$$

Ainsi le vaisseau se trouvera soumis à l'action de deux forces, l'une venant de la résistance de l'eau, et qui contrariera le mouvement, l'autre provenant de l'action du vent sur la voile. La différence de ces deux forces donnera celle qui fait mouvoir le vaisseau au premier instant.

Représentant donc par F cette force motrice, par M l'impulsion du vent, par R la résistance de l'eau, et réduisant à une voile unique toutes les voiles exposées au vent, nous aurons :

$$F = M - R$$

ou bien

$$F' = 2n\,B'\,X\,\sin.^2 I - m\textstyle\int . \left[\frac{\int . Kx}{x}\left(1 + \sin.^2 i + \sin.^2 i'\right)\right] \ldots (50).$$

Si on vouloit déterminer l'impulsion du vent sur le vaisseau déjà en mouvement, il suffiroit d'observer que la vitesse avec laquelle le choc auroit lieu seroit la différence entre la vitesse du vent et celle du vaisseau. Or X exprime la hauteur due à la vitesse du vent et $x$ celle due à la vitesse du vaisseau; par conséquent $X - x$ sera la hauteur due à la vitesse du choc.

D'après cela, les formules 49 et 50 se changeront en celles-ci :

$$(51)\ldots\left\{\begin{array}{l} L = 2nB'(X-x)\sin.^2 I \\ M = 2nB''(X-x)\sin.^2 I \\ N = 2nB'(X-x)\sin.^2 I \end{array}\right.$$

$$(52)\ldots F = 2nB'(X-x)\sin.^2 I - mf.[f.\frac{Kx}{r}(1+\sin.^2 i+\sin.^2 i')].$$

## PROBLÈME XXXI.

*Un vaisseau étant soumis à l'action de l'eau et du vent, on demande le point d'application de toutes les forces horizontales et parallèles à la direction de la route, qui agissent sur le vaisseau ; le point d'application de toutes les forces horizontales perpendiculaires à la route, et enfin celui de toutes les forces verticales.*

SOLUTION. La détermination d'un point dans l'espace exige qu'on trouve la distance de ce point à

trois plans réciproquement perpendiculaires. Nous supposerons donc que l'un de ces plans soit le plan longitudinal, et que les deux autres soient parallèles, l'un à la flottaison, et l'autre au maître couple.

Or nous savons que la distance entre un plan et le point d'application de plusieurs forces parallèles, est égale à la somme des momens de ces forces relativement à ce plan, divisée par la somme des forces; ayant soin d'observer de donner le signe — aux momens des forces situées de l'autre côté du plan des momens, ainsi qu'aux forces qui agissent en sens contraire de celles qu'on a affectées du signe +.

Ainsi on pourra dans tous les cas trouver le point d'application de la résultante de plusieurs forces, quand on connoîtra la grandeur et la direction des forces composantes.

## PROBLÈME XXXII.

*Déterminer les momens de rotation d'un vaisseau sous voile, autour de l'axe horizontal parallèle au maître couple et passant par le centre de gravité du vaisseau.* ( Pl. II, fig. 26 et 27. )

SOLUTION. Soit ACDB le plan longitudinal de la carène; AM le mât de beaupré; FK celui de misaine; EI le grand mât, et HL celui d'artimon.

Soit G le centre de gravité du vaisseau; *br* une droite verticale passant par ce centre; R*r* la direction de la résultante de toutes les forces horizontales per-

pendiculaires au maître couple ; $Qq$ la direction de la résultante de toutes les forces verticales ; soient les points $m, k, i$ et $l$, les centres des surfaces des voilures du beaupré, de misaine, du grand mât, d'artimon et des mâts supérieurs. On pourroit aussi y comprendre les centres de toutes les voiles triangulaires, en combinant les focs avec les voiles de misaine, les étais avec les voiles du grand mât, et les étais de l'arrière avec les voiles d'artimon. Enfin représentons par A, B, C et D, les surfaces respectives des voiles de chaque mât ; par A', B', C' et D', leurs projections sur un plan vertical perpendiculaire à la quille ; par A", B", C" et D", celles sur le plan longitudinal, et par A‴, B‴, C‴ et D‴, les projections sur un plan horizontal.

Cela posé, le moment de rotation du vaisseau autour de l'axe horizontal ST parallèle au maître couple et passant par le centre de gravité G, aura pour expression

$$2n(X-x)\sin.^2 I(Gn \times A' + Gb \times B' + Ga \times C' + Gc \times D') + R \times Gr \mp Q \times Gq \ldots \ldots \ldots (53)$$

Le signe — ayant lieu quand la direction des forces verticales se trouve en avant, et le signe + quand la même direction est située en arrière du centre de gravité du vaisseau.

Comme il importe de diminuer les inclinaisons du vaisseau de poupe à proue, et qu'il est plus avantageux de favoriser les inclinaisons de l'avant à l'arrière que celles de l'arrière à l'avant, il s'ensuit qu'*il ne faut pas porter trop en avant le centre de gravité, ni reculer trop en arrière le centre des poussées verticales de l'eau.*

## PROBLÈME XXXIII.

*Trouver les momens des forces qui tendent à faire tourner le vaisseau sous voile, autour de l'axe longitudinal passant par le centre de gravité.* (Pl. II, fig. 27.)

Solution. Soit ASBT le plan horizontal qui passe par le centre de gravité G, et qui coupe par conséquent la carène parallèlement à la flottaison. Soit AB l'intersection du plan horizontal avec le plan longitudinal; GV la direction de la route; le point O le point où la direction de la résultante des poussées verticales de l'eau rencontre le plan horizontal; soient A, F, E et H les endroits où sont placés les mâts de beaupré, de misaine, le grand mât et celui d'artimon; soient aussi M', K', I' et L', les projections sur le plan horizontal des centres des efforts du vent sur la totalité de la voilure de chaque mât.

Enfin, soient les lignes $M'm'$, $K'k'$, $I'i'$, $L'l'$, des perpendiculaires abaissées de ces projections sur la droite AB qui est la projection horizontale de la quille, et soit $Oq$ une autre perpendiculaire sur la même droite AB.

Cela posé, par les points M', K', I' et L', passeront les forces verticales provenant des efforts du vent, lesquelles agiront de haut en bas, et feront incliner le vaisseau sous le vent, avec une force proportionnelle à leur grandeur et à leur distance au plan longitudinal.

Outre cela, on observera que la résistance de l'eau sur la carène peut se décomposer d'abord en deux forces, l'une verticale Q (fig. 26) passant par un point O (fig. 27) et agissant de bas en haut; l'autre horizontale R dont la projection sur le plan ASBT sera représentée par le droite $ROr''$, et dont l'action aura lieu de R vers O. Mais cette force horizontale R ou $R'$ peut se décomposer en deux autres forces U et $U'$; la seconde, située dans le plan longitudinal ACDB (fig. 26), et la première perpendiculaire à ce même plan qu'elle rencontre en un point $r'$ dont on voit la projection en $r''$ (fig. 27) sur le plan horizontal.

Si maintenant on remarque que la force U se trouve distante de l'axe horizontal AB, de la quantité $r'r''$, et qu'elle agit de $r''$ vers U, on verra que cette force produit un moment exprimé par $U \times r'r''$, et qu'elle tend à augmenter l'inclinaison.

Quant à la force $U'$, elle est ici de nul effet, à cause que sa direction étant parallèle à l'axe AB, elle ne peut occasionner aucun mouvement de rotation autour de cet axe.

Mais l'inclinaison du vaisseau sous le vent, en faisant plonger dans l'eau une partie plus pleine que celle qui se trouve au vent, fera passer sous le vent le centre O d'application des poussées verticales de l'eau. Ces dernières forces produiront un moment de rotation contraire au précédent; de sorte que la force $F''$ du vaisseau pour *porter la voile*, c'est-à-dire, pour résister aux inclinaisons que le vent tend à lui donner, sera déterminée par l'équation

$$(54)\ldots F'' = 2n(X - x)\sin.^2 I\,(A''' \times M'm' + B''' \times K'k' + C''' \times I'i' + D''' \times L'l') + U \times r'r'' - Q \times Oq.$$

## PROBLÈME XXXIV.

*On demande les momens des forces qui tendent à faire tourner un vaisseau sous voile autour de l'axe vertical qui passe par le centre de gravité, c'est-à-dire, à faire venir au vent, ou à le faire arriver.* (Fig. 27.)

Solution. Conservant la même construction que ci-dessus, on verra aisément que les efforts du vent concentrés en M′ et en K′, agiront aux extrémités des leviers $Gm'$ et $Gk'$, de manière à faire tourner la proue du vaisseau de droite à gauche, ou à faire arriver.

Quant aux forces appliquées en I′ et L′ à l'arrière du centre G de gravité, elles contrarieront celles placées à l'avant, et tendront à faire venir le vaisseau au vent.

Mais la résistance horizontale R de l'eau dont la direction est parallèle à celle GV de la route, peut se décomposer, comme nous l'avons vu, en deux autres forces horizontales U et U′ dont la première fournira relativement à l'axe vertical YZ (fig. 26) le moment $U \times Gr''$ (fig. 27), et dont la seconde, située dans le plan de l'axe vertical, sera de nul effet. Ce moment $U \times Gr''$ tendra à faire arriver le vaisseau, ou bien à le faire venir au vent, selon que le point $r''$ de rencontre de la direction de la force

horizontale R avec le plan longitudinal, se trouvera placé à l'arrière ou à l'avant du centre de gravité G.

De sorte que si nous représentons par $F'''$ la force qui tend à faire arriver ou à faire venir au vent, nous aurons,

$$(55).\ F''' = 2n(X-x)\sin.^2 I\,[A''\times Gm' + B''\times Gk' - (C''\times Gi' + D''\times Gl')] \pm U\times Gr''.$$

Formule dans laquelle les momens négatifs tendent à faire venir le vaisseau au vent; les positifs, à le faire arriver; et dans laquelle encore, le terme affecté du double signe $\pm$ doit prendre le signe supérieur ou inférieur, suivant que la direction de la résultante des résistances horizontales de l'eau parallèles à la route se trouve à l'arrière ou à l'avant du centre de gravité du vaisseau.

## PROBLÈME XXXV.

*Quelle est l'influence de la forme de la carène; quelle est celle de la position des mâts, des voiles et du centre de gravité sur les momens de rotation du vaisseau de poupe à proue.* (Pl. II, fig. 26.)

Solution. Nous avons trouvé pour déterminer la force de rotation de poupe à proue, l'équation

$$F' = 2n(X-x)\sin.^2 I\,(Gn\times A' + Gb\times B' + Ga\times C' + Gc\times D') + R\times Gr \mp Q\times Gq.$$

Dans laquelle les momens positifs tendent à faire plonger la proue, et les négatifs à la relever; le terme

affecté du double signe $\mp$ prenant le signe supérieur ou inférieur, selon que le centre des poussées verticales de l'eau se trouve placé à l'avant ou à l'arrière du centre de gravité du vaisseau.

Or il est visible, par l'inspection seule de la formule, que le moment qui tendra à faire plonger la proue, augmentera avec le sinus de l'angle I d'incidence du vent sur les voiles; avec les distances $Gn$, $Gb$, $Ga$ et $Gc$ du centre de surface de la voilure de chaque mât, au centre de gravité du vaisseau; avec les projections verticales $A'$, $B'$, $C'$ et $D'$ perpendiculaires à la quille, des surfaces des voiles; avec la résistance horizontale R de l'eau parallèlement au plan longitudinal; avec la distance $Gr$ de la direction de cette résistance au plan horizontal qui passe par le centre de gravité; enfin la force qui tend à faire incliner le vaisseau vers l'avant diminuera, quand la poussée verticale Q de l'eau augmentera, et aussi quand la distance $Gq$ de la direction de cette force Q au centre de gravité deviendra plus grand; cette diminution n'ayant lieu que dans le cas où le centre des poussées verticales de l'eau seroit en avant de celui de gravité. Dans le cas contraire, la diminution deviendroit augmentation.

Nous concluerons donc de là :

Que, *pour augmenter les momens des forces qui tendent à relever la proue, il faut tenir le centre de gravité plus à l'arrière, et le rapprocher, en l'abaissant de celui des résistances horizontales. Il faut porter le centre de déplacement le plus à l'avant et le plus haut possible. Il faut encore augmenter le déplacement et diminuer la ré-*

*diminuer la résistance horizontale, en diminuant l'aire du maître couple, surtout vers le bas.*

*Enfin, on diminuera les momens des forces qui tendent à plonger la proue, si on diminue les projections des voiles sur le plan vertical perpendiculaire à la quille, en diminuant l'angle des vergues avec la quille, sans trop approcher de l'angle droit, l'angle de la direction du vent avec les voiles; et cette diminution dans les momens surtout sera considérable, si les mâts sont peu élevés, ou que les voiles hautes soient carguées.*

*Il est aisé de voir aussi que la proue plongera d'autant moins que la vitesse du vent sera moindre.*

Donc, *la position des mâts est ici de nul effet; et il n'y a que leur hauteur qui exerce une grande influence, pour faire plonger la proue.*

## PROBLÈME XXXVI.

*Quelles sont les causes qui tendent à diminuer les inclinaisons du vaisseau autour de l'axe longitudinal, ou à augmenter la force du vaisseau pour porter la voile?* (Pl. II, fig. 27.)

**Solution.** Nous avons trouvé pour déterminer la force qui tendoit à incliner le vaisseau sous le vent, l'équation

$$F'' = 2n(X-x)\sin.^2 I(A''' \times M'm' + B''' \times K'k' + C''' \times I'i' + D''' \times L'l') + U \times r'r'' - Q \times Oq.$$

Or, en examinant attentivement les diverses quantités qui entrent dans la valeur de $F''$, et observant, d'après les figures 26 et 27, les effets que produit chacune de ces quantités par rapport au mouvement de rotation autour de l'axe longitudinal, on en conclura :

Qu'*on augmente la force du vaisseau pour porter la voile*, 1.° *en augmentant le déplacement ou les poussées verticales ;* 2.° *en tenant les environs de la flottaison très-pleins et les façons inférieures très-hautes, afin qu'une petite inclinaison donne un grand mouvement horizontal au centre des poussées verticales ;* 3.° *en faisant la mâture peu élevée ;* 4.° *en rapprochant de l'angle droit l'angle des vergues avec la quille, et conservant pourtant assez aigu l'angle du vent avec les voiles ;* 5.° *enfin, en diminuant de voilure et surtout dans les parties hautes ; ayant de plus égard à ce que nous avons dit de la stabilité du vaisseau, lorsqu'il est encore sans mouvement progressif.*

## PROBLÈME XXXVII.

*Par quels moyens pourroit-on augmenter la force du vaisseau pour venir en avant, ou pour arriver ?* (Pl. II, fig. 27.)

SOLUTION. La formule (35) peut nous faire connoître les circonstances les plus favorables à l'un ou à l'autre de ces deux mouvemens; elle donne :

$$F''' = 2n(X - x)\sin.^2 I(A'' \times Gm' + B'' \times Gk' - C'' \times Gi' - D'' \times Gl') \pm U \times Gr''.$$

dans laquelle les momens positifs tendent à faire arriver; les négatifs, à faire venir au vent; le signe inférieur du double signe ± ayant lieu, quand la résultante des forces horizontales de l'eau passe à l'avant du centre de gravité, le signe supérieur étant pour le cas où cette même résultante passe à l'arrière du même centre de gravité.

Or l'inspection de la formule et de la figure qui s'y rapporte, montre aisément,

Qu'*afin d'augmenter la tendance du vaisseau pour venir au vent, il faut* 1.° *rendre très-petit l'angle des vergues de l'arrière avec la quille, et brasser carrées ou presque carrées les vergues de l'avant;* 2.° *augmenter la voilure à l'arrière, et la diminuer à l'avant, surtout aux mâts les plus éloignés;* 3.° *tenir le centre de gravité du vaisseau le plus vers l'avant possible;* 4.° *augmenter la résistance horizontale de l'eau, en conservant sa direction à l'avant du centre de gravité, ou diminuer cette résistance, si on en fait passer la direction à l'arriere du même centre.*

En opérant d'une manière inverse, on diminueroit la qualité du vaisseau de venir au vent, et on augmenteroit celle d'arriver.

## PROBLÈME XXXVIII.

*Connoissant l'angle que fait le gouvernail avec la quille, l'étendue et la forme qu'il a, ainsi que la vitesse du vaisseau suivant une route connue, on demande, 1.° la résistance qu'éprouve le gouvernail; 2.° le moment de rotation qui en résulte autour de l'axe vertical passant par le centre de gravité.* (Pl. II, fig. 28.)

Solution. Pour apprécier avec plus de justesse l'action de l'eau sur le gouvernail, il est nécessaire d'observer ce qui arrive lorsque le vaisseau est en mouvement, et que le gouvernail fait un angle avec la direction de la route; direction que nous supposons ici parallèle à la quille pour simplifier davantage nos formules.

Or nous avons déja vu que la proue du vaisseau en mouvement refoule l'eau devant elle, et que l'eau qui environne la poupe cherche à remplir le vide en suivant le vaisseau avec une vitesse qui doit être l'excès de la vitesse provenant de la pression verticale sur la vitesse du vaisseau. D'où il s'ensuivroit que l'action des molécules qui suivent le vaisseau devroit être nulle ou presque nulle par rapport au gouvernail, et qu'il n'y auroit guère que les molécules très-voisines de la quille, lesquelles n'étant pas entraînées par la vitesse

du vaisseau, agiroient efficacement sur le gouvernail. L'expérience vient même à l'appui du raisonnement, puisqu'en augmentant la surface supérieure du gouvernail, on n'augmente que très-foiblement son action, tandis qu'on l'augmente considérablement quand l'augmentation de surface se fait dans la partie inférieure. Voilà sans doute pourquoi la forme triangulaire doit être la plus favorable.

Venons-en maintenant à la détermination de l'action de l'eau sur le gouvernail. Pour cela, soit G la surface du gouvernail exposée à cette action; soit BM la section horizontale du gouvernail par un plan qui passe par la résultante horizontale des efforts de l'eau. Soit $k$ l'angle MBN que fait le gouvernail avec la direction de la route ou la quille.

J'observe d'abord que si $x$ est la hauteur due à la vitesse du vaisseau et $h$ celle due à la pression d'une molécule, la partie antérieure du gouvernail sera pressée par chaque molécule avec une vitesse perpendiculaire, exprimée par le poids d'une colonne fluide dont la hauteur seroit

$$h + x \sin.^2 k.$$

Quant à la face arrière du gouvernail, il est évident, d'après la formule (34), que les molécules fluides la presseront en sens contraire avec une force due au poids d'une colonne fluide de la hauteur

$$h - x - x \sin.^2 k.$$

Donc la pression totale qu'éprouve chaque point du gouvernail, de l'avant à l'arrière, sera exprimée par

$$(h + x \sin.^2 k) - (h - x - x \sin.^2 k),$$

ou par

$$x\,(1+2\sin.^2 k).$$

Par conséquent si on représente par M, l'action totale et perpendiculaire de l'eau contre le gouvernail, on aura

$$M = m\,G\,x\,(1+2\sin.^2 k).$$

nommant M′ et M″ les forces du gouvernail dont l'une seroit parallèle et l'autre perpendiculaire à la quille, et supposant que G′ et G″ soient les projections verticales correspondantes de la surface G, on aura les équations

$$M' = m\,G'\,x\,(1+2\sin.^2 k),$$
$$M'' = m\,G''\,x\,(1+2\sin.^2 k).$$

observant que la force parallèle à la quille tend à diminuer le mouvement progressif du vaisseau, et que la force perpendiculaire tend à produire un mouvement de rotation autour d'un axe vertical passant par le centre de gravité.

Pour déterminer ce moment de rotation, il suffira d'abaisser du centre de gravité G sur la direction DE de la résultante des forces perpendiculaires une droite GE perpendiculaire, et de chercher l'expression du levier GE.

Or

$$GE = GC \times \sin.\,C = GC \times \cos.\,CBD = GC \times \cos.\,k.$$
$$GC = GB + BC \text{ et } BC = \frac{DB}{\cos.\,k}.$$

Donc

$$GE = \left(BG + \frac{BD}{\cos.\,k}\right) \times \cos.\,k = BG \times \cos.\,k + BD.$$

De sorte que nous aurons pour l'expression du moment de rotation

$$m\,G\,x\,(1+2\sin.^2 k)(BD+BG\times\cos. k)$$

ou bien

$$m\,G''x\,(1+2\sin.^2 k)\,(BG+BH)$$
$$=m\,G''\,x\,(1+2\sin.^2 k)\,(BG+BD\cos. k).$$

Si on suppose

$$BG=a \text{ et } BD=b,$$

le moment de rotation produit par le gouvernail sera

$$m\,G\,x\,(1+2\sin.^2 k)\,(b+a\cos. k),$$

ou

$$m\,G''x\,(1+2\sin.^2 k)\,(a+b\cos. k).$$

Mais si on observe que $b$ est extrêmement petit par rapport à la quantité $a$, on pourra simplifier les expressions du moment de rotation en négligeant $b$. D'après cela, le moment du gouvernail sera

$$\left.\begin{array}{l} m\,Ga\,x\cos. k\,(1+2\sin.^2 k) \\ \text{ou bien} \\ m\,G''a\,x\,(1+2\sin.^2 k). \end{array}\right\}\ldots\ (56)$$

## PROBLÈME XXXIX.

*Trouver une méthode pour obtenir le* maximum *ou le* minimum *d'une quantité.*

Solution. Une quantité ne sauroit devenir un *maximum* ou un *minimum*, si elle ne renferme dans son expression des quantités qui éprouvent

des variations et qui la font passer par des états différens.

Or une quantité susceptible de devenir un *maximum* doit aller en croissant avant d'y arriver, et en décroissant après y être arrivée. Par conséquent, la différence entre deux états consécutifs de cette quantité sera d'abord positive et ensuite négative. Mais une quantité ne sauroit devenir positive et ensuite négative, sans devenir nulle au passage de l'état positif à l'état négatif.

Pour comprendre comment cela peut arriver, soit A une quantité qui, par les variations qu'elle éprouve devienne A'; cette quantité étant plus grande que A. La différence entre les deux états consécutifs de A sera exprimée par A' — A, et cette différence sera positive. Si elle devient négative, il faudra que les variations qu'éprouvera la quantité A' rendent celle-ci plus petite qu'elle n'est, de manière à avoir $A > A'$.

Mais, si nous supposons que la quantité A passe par tous les degrés intermédiaires d'accroissemens, elle s'approchera sans cesse de A'; de sorte que la différence A' — A sera toujours plus petite et finira par devenir nulle. Alors on aura

$$A' - A = o \text{ ou } A' = A.$$

Les variations suivantes tendant à diminuer A', on aura $A' < A$; ce qui en rendra la différence négative. Il en seroit de même si la différence avoit commencé par être négative et qu'elle eût fini par devenir positive.

Si au contraire une quantité, après avoir reçu diverses valeurs qui vont en diminuant, ne recevoit

plus que des valeurs qui allassent en croissant, elle en auroit eu une intermédiaire qui seroit un *minimum* entre toutes les valeurs reçues. Or, il est visible que tout le tems que cette quantité alloit en diminuant, ses différences étoient négatives, et qu'elles étoient positives tout le tems qu'elle alloit en croissant.

Par conséquent, l'indication du *minimum* d'une quantité est, comme pour le *maximum*, la nullité de la différence. Seulement on distinguera le *maximum* du *minimum*, en observant que, pour le premier, la différence commence par être positive et finit par être négative, tandis que pour le second elle est d'abord négative et ensuite positive.

Nous établirons donc en principe,

Qu'*une quantité variable devient* maximum *ou* minimum *à l'instant où sa différence devient zéro ; et que, dans le cas du* maximum, *cette différence est d'abord positive et ensuite négative, tandis qu'elle est d'abord négative et ensuite positive dans le cas du* minimum.

Il nous reste encore à savoir comment on détermine la différence d'une quantité variable ; et comment cette différence étant égalée à zéro, on peut trouver le *maximum* ou le *minimum* d'une quantité.

# PROBLÈME XL.

*Etant données les quantités* $ax^3$, $xy$, $\frac{x}{y}$, *sin.* x, *cos.* x *et tang.* x, *dans lesquelles* x *et* y *sont des quantités variables, on demande la différence entre deux états consécutifs de ces quantités, infiniment voisins l'un de l'autre.*

Solution. Pour avoir la différence entre deux états consécutifs d'une quantité, infiniment voisins l'un de l'autre, il faut supposer que l'accroissement ou le décroissement de chaque variable soit infiniment petit. Afin de désigner cet accroissement ou ce décroissement, nous mettrons la lettre caractéristique *d* devant la variable. Ainsi $dx$ sera l'expression ou l'indication de l'accroissement infiniment petit que reçoit la variable $x$. On peut se faire une idée de cet accroissement infiniment petit, en le regardant comme fraction dont le numérateur seroit l'unité, et le dénominateur un nombre infiniment grand, ou au moins composé de plus de chiffres qu'on ne peut en imaginer.

Cela posé, pour avoir la différence infiniment petite ou la *différentielle* de $ax^3$, on substituera $x + dx$ au lieu de $x$, et on aura l'état infiniment voisin dans lequel se tranforme $ax^3$; de sorte qu'en en retranchant $ax^3$, on aura la différentielle de $ax^3$.

Effectuant le calcul on trouvera

$$a(x+dx)^3 - ax^3 = ax^3 + 3ax^2dx + 3ax(dx)^2 + a(dx)^3 - ax^3$$
$$= 3ax^2dx + 3ax(dx)^2 + a(dx)^3.$$

Or cette dernière quantité est susceptible de simplification. Car $dx$ étant une quantité infiniment petite, $(dx)^2$ ou le carré de $dx$ sera une quantité nulle par rapport à $dx$, comme infiniment plus petite qu'elle. Quant à $(dx)^3$, elle sera nulle relativement à $(dx)^2$, et à plus forte raison à l'égard de $dx$. Par conséquent les deux derniers termes $3ax(dx)^2 + a(dx)^3$ seront nuls par rapport au premier.

Pour peu mieux éclaircir ce sujet, nous ajouterons qu'on peut former la proportion $1 : dx :: dx : dx^2$. Or $dx$ est infiniment petit par rapport à 1; donc $dx^2$ le sera aussi par rapport à $dx$. On auroit semblablement $1 : dx :: dx^2 : dx^3$, ainsi de suite.

Par conséquent $d. ax^3 = 3ax^2 dx$.

On trouveroit de la même manière $d. ax^4 = 4ax^3 dx$, et en général

$$d. ax^m = max^{m-1} dx.$$

D'après ce qui précède on aura

$$d.\ xy = (x + dx)\ (y + dy) - xy = xy + ydx + xdy + dxdy - xy$$
$$= ydx + xdy + dxdy.$$

Mais la proportion $1 : dx :: dy : dxdy$ fait voir que $dx$ étant infiniment petit à l'égard de $1$, $dxdy$ le sera à l'égard de $dy$ ; ce qui simplifiera la différentielle de $dy$, en donnant

$$d.\ xy = ydx + xdy.$$

Maintenant

$$d.\ \frac{x}{y} = \frac{x+dx}{y+dy} - \frac{x}{y} = \frac{xy+ydx-xdy-xy}{y^2+ydy} = \frac{ydx-xdy}{y^2+ydy}.$$

Mais le terme $ydy$ est infiniment petit à l'égard de $y^2$ ; par conséquent on peut le regarder comme nul dans cette somme. On aura donc

$$d.\ \frac{x}{y} = \frac{ydx - xdy}{y^2}.$$

Quant à $d.\ \sin. x$, on aura $d.\ \sin. x = \sin. (x + dx) - \sin. x.$

Or $\sin. (x + dx) = \sin. x \cos. dx + \sin. dx \cos. x$ ; et regardant $dx$ comme un arc infiniment petit, on aura $\cos. dx = 1$ et $\sin. dx = dx$. Par conséquent

$$d.\ \sin.\ x = dx \cos. x.$$

On aura semblablement

$d.\ \cos. x = \cos. (x + dx) - \cos. x = \cos. x \cos. dx - \sin. x \sin. dx$ $- \cos. x = \cos. x + dx \sin. x - \cos. x.$

Donc

$$d.\ \cos. x = -dx \sin. x.$$

Pour avoir $d.$ tang. $x$, on observera que $d.\ \text{tang. } x = d.\ \frac{\sin. x}{\cos. x}.$

Or, d'après la formule $d.\ \frac{x}{y} = \frac{ydx - xdy}{y^2}$, on aura

$$d.\ \frac{\sin. x}{\cos. x} = \frac{\cos\ x\ d.\ \sin. x - \sin. x\ d.\ \cos. x}{\cos.^2 x}.$$

Mais $d.\ \sin. x = dx \cos. x$ et $d.\ \cos. x = - dx \sin. x$ ; substituant ces valeurs, on aura

$$d.\ \frac{\sin. x}{\cos. x} = \frac{dx\ \cos.^2 x + dx \sin.^2 x}{\cos.^2 x} = \frac{dx\ (\cos.^2 x + \sin.^2 x)}{\cos.^2 x}.$$

Et enfin comme $\cos.^2 x + \sin.^2 x = 1$, on obtiendra la formule

$$d.\ \text{tang. } x = \frac{dx}{\cos.^2 x}.$$

# PROBLÈME XLI.

*On demande quel angle doit faire le gouvernail avec la quille, pour que le mouvement de rotation qu'il produit, soit le plus grand possible.*

SOLUTION. Le moment qu'il s'agit de rendre un *maximum* est $m\,G\,a\,x$ cos. $k$ ( $1 + 2$ sin.$^2\,k$ ).

Or, les quantités $m$, G, $a$ et $x$ sont des quantités qui sont ici supposées constantes, et il n'y a de variables que les deux facteurs du produit cos. $k$ ( $1 + 2$ sin.$^2\,k$ ) C'est donc ce produit qu'il s'agit de rendre un *maximum*.

Prenons-en donc la différence dans la supposition que la varistion de l'arc soit infiniment petite, et égalons à zéro cette différentielle, d'après la règle du problème XXXIX.

Nous aurons

$$d.\ \text{cos.}\ k\ (1 + 2\ \text{sin.}^2\ k) = d.\ (\text{cos.}\ k + 2\ \text{sin.}^2\ k\ \text{cos.}\ k) =$$
$$-dk\ \text{sin.}\ k + 4\ dk\ \text{sin.}\ k\ \text{cos.}^2\ k - 2\ dk\ \text{sin.}^3\ k = o.$$

Divisant tous les termes de cette équation par $dk$ sin. $k$, il viendra $-1 + 4$ cos.$^2\,k - 2$ sin.$^2\,k = o$.

Mais cos.$^2\,k = 1 -$ sin.$^2\,k$ ; donc on aura

$-1 + 4 - 4$ sin.$^2\,k - 2$ sin.$^2\,k = o$ ; ou $3 = 6$ sin.$^2\,k$.

Donc

$$\text{sin.}^2\ k = \tfrac{1}{2}\ \text{et sin.}\ k = \sqrt{\tfrac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Or sin. $30^o = \frac{1}{2}$ ; donc sin $30^o =$ sin.$^2$ $k$.

Donc $1 -$ sin.$^2\,k =$ cos.$^2\,k = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$.

Donc $\dfrac{\text{sin.}^2\ k}{\text{cos.}^2\ k} =$ tang.$^2\,k$ $\dfrac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{2}} = 1$.

Donc tang. $k = \pm 1$ ; et par conséquent $k = 45^o$ ou $k = 135^o$, suivant que la tangente est positive ou négative.

Or si on observe que tang. $45^o$ est positive, tandis que tang. $135^o$ est négative, on verra que la première valeur de $k$ est la seule qui puisse faire tourner la proue du côté du gouvernail, et que la seconde produiroit une rotation en sens contraire, si toutefois on pouvoit l'employer.

## PROBLÈME XLII.

*Déterminer la vitesse du vent.* (Pl. II, fig. 29.)

Solution. Soit ABCD un tuyau ou petit cylindre de fer blanc, au fond duquel soit fixée l'extrémité E d'un ressort tourné en spirale, dont l'autre extrémité est fixée au bout F d'une tige graduée FH un peu plus longue que le tuyau. Si à l'autre bout H de la tige on adapte perpendiculairement à cette tige une surface plane connue, par exemple, un mètre carré, on pourra placer le tuyau verticalement, poser sur la surface des poids successivement plus grands, qui en faisant enfoncer plus ou moins la tige dans le tuyau, feront connoître la graduation que doit avoir la tige.

Maintenant, pour se servir de cet instrument, on présentera sa surface IKLM perpendiculairement à la direction du vent, et la quantité GF, dont la tige entre dans le tuyau, indiquera à quel poids équivalent les efforts du vent sur la surface donnée IKLM; et d'après cette connoissance, on pourra estimer les efforts du vent sur toute autre surface, et par conséquent sur les voiles du vaisseau.

Il est aisé de voir que la graduation, pour n'être pas fautive, exige que le ressort conserve toujours la même force. Mais, bien des causes concourant à l'affoiblir, il devient indispensable de vérifier de tems à autre sa graduation, en remettant sur la surface, les poids qui avoient servi à graduer la tige.

## PROBLÈME XLIII.

*Connoissant la vitesse du vent, celle du vaisseau, et la direction apparente du vent par le moyen de la girouette, on demande la direction vraie du vent.* (Pl. II, fig. 30.)

Solution. Concevons d'abord un plan horizontal passant par le centre de surface de la girouette. Soit AB l'intersection de ce plan avec le plan longitudinal; CN celle du même plan avec la girouette, et VH la direction vraie du vent dont la vitesse vraie est DH.

Puisque la girouette conserve sa position CN, il faut que les momens des forces qui agissent sur ses deux faces soient égaux. Or, la girouette participant à la vitesse du vaisseau, doit être frappée par le vent avec une vitesse relative égale à l'excès de la vitesse réelle du vent sur la vitesse qu'a le vaisseau suivant cette direction.

De sorte qu'on pourra regarder la girouette comme soumise à deux forces, l'une qui est l'impulsion qu'elle éprouveroit de la part du vent, si le vaisseau étoit immobile; et l'autre qui est exprimée par la vitesse du vaisseau agissant en sens contraire du vent.

Soit donc DH la force ou la vitesse avec laquelle le vent frapperoit la girouette, si le vaisseau étoit en repos, et DF la vitesse progressive du vaisseau que nous supposerons ici parallèle à la quille; la force qui la produit agissant de D en F ou de l'avant à l'arrière.

Cela posé, décomposons les forces S et T qui sont ici représentées par DH et DF, chacune en deux autres, l'une suivant la girouette CN, et l'autre perpendiculaire à la même ligne CN, en abaissant des points H et F les perpendiculaires HL et FE sur la droite EL perpendiculaire à la girouette CN.

De cette décomposition, il résulte les forces LH et EF, qui, appliquées en D, et agissant suivant la direction de la girouette, mais en sens contraire l'une de l'autre, n'ont d'autre effet que de tirer la girouette suivant son plan. Quant aux deux forces restantes DL et DE provenant de la même décomposition, elles tendent à faire tourner la girouette autour du point fixe C. De sorte que l'équilibre de la girouette exige que les deux momens de rotation, force DL $\times$ CD et force DE $\times$ CD qui ont lieu en sens contraire, soient égaux. On aura donc DL $=$ DE.

D'après cela, il ne nous reste plus qu'à déterminer les espaces DL et DE par le moyen des vitesses DH et DF du vent et du vaisseau. Menant la droite HM parallèle à AB, le triangle rectangle DLH donnera

$$DL = DH \times \text{sin. } DHL,$$

et le triangle rectangle DEF donnera

$$DE = DF \times \text{sin. } DFE.$$

Or ang. DHL $=$ ang. LHM — ang. DHM; et à cause de l'angle LMH $=$ ang. DAC, le triangle rectangle ADC donne ang. ACD $=$ ang. LHM. Mais ang. DHM $=$ ang. DKC, et ang. DFE $=$ ang. DCA comme ayant leurs côtés parallèles. Par conséquent, on aura

$$DHL = ACD - DKC \text{ et } DFE = ACD.$$

Donc

$$DL = DH \sin. (ACD - DKC)$$

et

$$DE = DF \sin. ACD.$$

Or, à cause de l'équilibre de rotation, on a

$$DL = DE.$$

Donc enfin,

$$DH \sin. (ACD - DKC) = DF \sin. ACD,$$

et

$$\sin. (ACD - DKC) = \frac{DF}{DH} \sin. ACD \ldots . (57)$$

formule d'après laquelle on déterminera la différence ACD — DKC entre l'angle de la direction de la girouette avec la quille et celui de la direction vraie du vent avec la même quille. De sorte que retranchant cette différence de l'angle ACD, on aura l'angle DKC que l'on cherche.

## PROBLÈME XLIV.

*Pourquoi un vaisseau ne suit-il presque jamais la direction du vent? ou bien, quelles sont les causes de la dérive, et par quels moyens pourroit-on les affoiblir?* (Pl. II, fig. 31.)

Solution. Pour simplifier nos recherches, réduisons à une voile unique la totalité de la voilure, et supposons cette voile unique passant par le centre de voilure, c'est-à-dire, par le centre des efforts du vent

sur les voiles. Soit donc C ce centre; MN l'intersection de la voile unique par le plan horizontal qui passe par le point C; VL la direction du vent; RE la direction de la résultante des forces horizontales de l'eau; AB la projection de la quille sur le plan horizontal qui passe par le centre C des efforts du vent sur les voiles.

Maintenant représentons par CL la vitesse que le vent tend à donner au vaisseau, et par DE la vitesse que la résistance de l'eau s'efforce d'imprimer à la carène en sens contraire.

Si des points I et E, nous menons à AB les perpendiculaires LI, EH et les parallèles LK, EF; achevant ensuite les parallélogrammes CILK et DHEF, nous aurons les forces CI et DH qui agiront suivant le plan longitudinal, mais en sens contraire l'une de l'autre. De sorte qu'il en résultera une force unique C*i* égale à leur différence.

Quant aux forces représentées par CK et DF, elles tendront à produire, chacune en sens contraire, un mouvement de rotation autour du centre de gravité G, et en même tems à imprimer au même centre un mouvement progressif perpendiculaire au plan longitudinal, avec une vitesse égale à CK — DF.

De sorte que faisant C*k* = CK — DF, le centre de gravité se trouvera soumis à deux forces perpendiculaires représentées par C*i* et C*k*, dont la résultante C*l* donnera la direction que suivra le centre de gravité, et par conséquent celle de la route, ainsi que la vitesse du vaisseau. L'angle de la dérive sera donc l'angle *l*C*i*.

Pour le déterminer on aura dans le triangle rectangle $Cil$, $li = Cl \times \sin. lCi$; par conséquent

$$\sin. lCi = \frac{li}{Ci}.$$

Mais

$$li = Ck \text{ et } Cl = \sqrt{\overline{Ck}^2 + \overline{Ci}^2}.$$

Donc

$$\sin. lCi = \frac{Ck}{\sqrt{\overline{Ck}^2 + \overline{Ci}^2}}. \quad \ldots\ldots \quad (58)$$

Pour juger plus aisément de quelles causes dépend la diminution de la dérive, mettons la formule précédente sous une forme plus propre à nous les faire connoître. C'est pourquoi multiplions et divisons la quantité qui est sous le radical, par $\overline{Ck}^2$, il viendra

$$\sin. lCi = \frac{Ck}{\sqrt{Ck^2\left(1 + \frac{\overline{Ci}^2}{\overline{Ck}^2}\right)}} = \frac{Ck}{Ck\sqrt{1 + \frac{\overline{Ci}^2}{\overline{Ck}^2}}}$$

et

$$\sin. lCi = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\overline{Ck}^2}{\overline{Ci}^2}}}.$$

D'après cette formule, il est clair que le sinus de la dérive deviendra plus petit, si $\frac{\overline{Ci}^2}{\overline{Ck}^2}$ augmente.

Or cette quantité peut augmenter de deux manières, ou par la diminution de $Ck$, ou bien par l'augmentation de $Ci$.

Mais $Ck = CK - DF$; donc la dérive diminuera

lorsque DF augmentera ou que CK diminuera. Outre cela $Ci = CI - DH$ ; par conséquent la dérive diminuera lorsque CI augmentera ou que DH diminuera.

Ainsi, *pour diminuer la dérive, il faut augmenter la résistance latérale de l'eau sur la carène, ou augmenter la surface du plan longitudinal, en augmentant le tirant d'eau, ou en donnant plus de longueur au vaisseau, moins de quête à l'étambot, et moins d'élancement à l'étrave.*

*On parviendra au même but en rendant très-petit l'angle de la direction du vent avec la quille du côté de la poupe.* D'où il suit que *la dérive doit être fort grande quand on navigue au plus près.*

## PROBLÈME XLV.

*Disposer les voiles de manière à courir avec le plus de vitesse possible sur une route donnée.* (Pl. II, fig. 32.)

Solution. La difficulté se réduit ici à trouver l'expression de la vitesse que le vent tend à imprimer au vaisseau dans la direction de la route, et à faire varier l'angle des vergues avec la quille, de manière que la vitesse imprimée par le vent soit un *maximum.*

Pour cela, soit AB la projection de la quille sur un plan horizontal passant par le centre C des efforts du vent sur les voiles. Soit MN la section par le même plan, de la voile unique équivalente par sa position et sa surface à toutes les autres, et passant par le centre C des efforts du vent. Soit encore CE la direction de la route; VC celle du vent; ang. $VCN = i$;

ang. ACM $= g$; ang. BCV $= l$; ang. ACE $= r$; S $=$ la surface de la voilure totale, et S $=$ M $\times$ *a*.

Outre cela, menons MD perpendiculaire à CE, et ND parallèle à la même droite CE.

Cela posé, la force perpendiculaire du vent sur MN sera exprimée au premier instant (form. 49) par

$$2n \text{SX} \sin.^2 i = 2n \text{M} \times a\text{X} \sin.^2 i.$$

Pour avoir la force du vent, selon la route CE, il faut à S $=$ M$\times a$ substituer sa projection sur un plan vertical perpendiculaire à la route. Or cette projection sera MD$\times a$, *a* exprimant la hauteur de la voile unique équivalente à toutes les autres. D'ailleurs

$$\text{MD} = \text{MN} \times \sin.\ \text{MND} = \text{MN} \times \sin.\ (\text{MCA} + \text{ACE}) = \text{MN} \times \sin.\ (g+r).$$

Donc

$$2n\,\text{MD} \times a\text{X} \sin.^2 i = 2n\,\text{X. MN. } a \sin.\ (g+r) \sin.^2 i.$$

La difficulté est donc ici ramenée à faire varier l'angle $g$, de manière à rendre la plus grande possible l'impulsion du vent suivant la route.

Nous prendrons par conséquent la différence de sin. $(g+r)$ sin.$^2 i$, ou de sin. $(g+r)$ sin.$^2$ $(g+l)$, en ne faisant varier que $g$, et cette différence nous l'égalerons à zéro.

Or (prob. 40.)

$$d.\ \sin.\ (g+r) \sin.^2 (g+l) = dg \cos.\ (g+r)\ \sin.^2 (g+l) + 2\,dg \sin.\ (g+r) \sin.\ (g+l) \cos.\ (g+l) = o.$$

Donc, en divisant tous les termes de cette équation par $dg$ cos. $(g+r)$ cos. $(g+l)$ sin. $(g+l)$, on aura

$$\frac{\sin.\ (g+l)}{\cos.\ (g+l)} + \frac{2 \sin.\ (g+r)}{\cos.\ (g+r)} = o \text{ ou tang. } (g+l) = -2 \text{ tang. } (g+r)$$

Donc

$$\text{tang.}\,(g+r) = -\tfrac{1}{2}\,\text{tang.}\,(g+l) = -\tfrac{1}{2}\,\text{tang.}\,i \,..\, (59)$$

Donc, *l'angle de la vergue avec la route doit être tel que sa tangente soit la moitié de la tangente de l'angle d'incidence du vent sur la voile, pour que le vent pousse le vaisseau suivant cette route, avec le plus de vitesse possible.*

## PROBLÈME XLVI.

*On demande de s'approcher de la direction du vent le plus possible, en conservant la plus grande vitesse, afin de s'éloigner le plus, et le plus vite possible, d'un objet situé sous le vent.* (Pl. III, fig. 33.)

Solution. Soit AB la projection de la quille sur le plan horizontal; MN la voile unique; CV la direction du vent; CR celle de la route à suivre, et E l'objet dont il faut s'éloigner.

Or, il est évident que la difficulté consiste à rendre l'angle ACV de la quille et du vent le plus petit possible, en remplissant la condition de conserver la plus grande vitesse.

Mais cette dernière condition ne peut être remplie qu'en faisant l'angle VCM tel que sa tangente soit double de celle de l'angle MCR. Donc, les deux conditions se trouveront satisfaites, si de plus on fait l'angle ACM des vergues avec la quille, le moindre

possible. Or, d'après la manière de gréer, on ne sauroit rendre cet angle plus petit que 30°.

Donc, *pour s'éloigner d'un objet placé sous le vent, le plus tôt et le plus possible, on fera l'angle des vergues avec la quille le plus petit possible; et l'angle d'incidence du vent sur les voiles, on le rendra tel que sa tangente soit double de la tangente de l'angle que fait la voile avec la route, c'est-à-dire, de la tangente de la somme des angles de la dérive, et de la vergue avec la quille.*

## PROBLÈME XLVII.

*Quelle disposition convient-il de donner aux voiles, pour que la force latérale du vent qui fait abattre le vaisseau soit un* maximum? (Pl. III, fig. 34).

Solution. La difficulté se réduit ici à trouver l'expression des efforts latéraux du vent sur une voile; à faire entrer dans cette expression l'angle d'incidence du vent sur la voile, ainsi que celui de la vergue avec la quille; et voir quelle valeur on devroit donner à ces angles, pour qu'il en résultât un *maximum* de force de rotation.

Soit donc AB la projection de la quille sur un plan horizontal passant par le centre C des efforts du vent sur les voiles; soit MN la projection de la voile unique équivalente à toutes les autres. Soit VC la direction du vent; G le centre de gravité du vaisseau, ou sa projection, et enfin MO et NO, deux droites menées

des extrémités M et N, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire à AB.

D'après ce qui précède (prob. 30), l'impulsion latérale du vent sur la voile sera exprimée par

$$2n\,X \times MO \times a \times \sin.^2 VCM;$$

$a$ étant la hauteur de la voile.

Or,

$$MO = MN \times \cos. NMO = MN \times \cos. ACM.$$

Donc l'impulsion latérale du vent deviendra

$$2n\,X\,a \times MN \times \cos. ACM \times \sin.^2 VCM.$$

Mais cette valeur sera un *maximum*, si $\cos. ACM = 1$ et $\sin.^2 VCM = 1$; ou si ang. $ACM = o$ et ang. $VCM = 90°$; il est vrai que l'angle ACM ne peut jamais être nul.

*Il suffira donc dans la pratique pour augmenter la force d'abattée produite par le vent, de faire en sorte que l'angle d'incidence du vent sur les voiles reste toujours droit, et que l'angle des vergues avec la quille soit le plus petit possible.*

## PROBLÈME XLVIII.

*Examiner les causes du tangage, les effets dangereux qui peuvent en résulter, et les moyens qu'il y auroit à prendre pour en prevenir les suites funestes.* (Pl. III, fig. 35.)

Solution. Pour simplifier nos recherches, nous supposerons le vaisseau allant vent arrière, sans dé-

rive, et les vagues se dirigeant sur la proue perpendiculairement au lit du vent; la grosse mer provenant d'un vent qui a soufflé peu de tems auparavant du côté vers lequel on se dirige.

Cela posé, concevons un plan vertical passant par la quille, et prolongé de manière à couper la vague qui commence à atteindre la proue. Soit *gei* la forme de la vague; ABCD le plan longitudinal du vaisseau; AB la ligne de flottaison avant le choc de la lame; G le centre de gravité autour duquel la rotation aura lieu; *k*K la direction de la résultante des efforts de la lame sur la proue; *v*V celle de la résultante des forces provenant de l'action de l'eau sur la carène, excepté des forces verticales agissant sur l'arrière, et de celles produites par l'impulsion du vent sur les voiles; soit enfin H'*h* la direction des poussées verticales de l'eau sur l'arrière du vaisseau.

Dans l'hypothèse que nous avons faite, ces deux premières résultantes se couperont dans le plan longitudinal. Soit E ce point d'intersection. Les forces K et V étant représentées par les droites E*l*, E*m*, on les réduira à une résultante unique E*n* ou F agissant de bas en haut. Cette force E*n*, on la décomposera en deux forces R et H, l'une horizontale agissant de l'arrière à l'avant, et l'autre verticale dirigée de bas en haut. De sorte que toutes les forces qui agissent sur la carène, à l'instant où la vague aborde la proue, seront R, H et H'

La force R doit être placée ordinairement au dessus du centre G de gravité; car elle est la résultante des forces horizontales de l'eau et de celles de l'impulsion du vent sur les voiles. Or, celle-ci ayant son

centre d'application ordinairement assez élevé, et la partie haute de la carène éprouvant une plus forte résistance que la partie inférieure ; d'ailleurs le choc de la lame ayant lieu vers la flottaison, il s'ensuit que la résultante des forces horizontales doit se trouver ordinairement plus haut que le centre de gravité. Il est donc visible que cette force R tendra à élever la proue. Mais sa très-grande proximité de la flottaison rendra très-petit le levier E*r* à l'extrémité duquel elle agit.

Le plus grand effet sera produit par la poussée verticale H appliquée au bout du levier G*r*. Enfin, la force verticale H′ tendra à faire plonger la proue, et à contrarier les autres forces, avec un moment exprimé par $H' \times hG$.

Le poids V du vaisseau étant une force qui passe par le centre G de gravité autour duquel se fait la rotation, ne tendra qu'à produire un mouvement vertical de haut en bas, et ne troublera nullement les mouvemens de rotation que les autres forces tendent à imprimer.

Mais nous avons vu que toute force dont la direction ne passoit pas par le centre de gravité, tendoit à imprimer à celui-ci un mouvement progressif suivant une direction parallèle à la sienne, et en outre un mouvement de rotation autour d'un axe passant par le centre de gravité et perpendiculaire à la direction de cette force.

D'après cela, le centre de gravité G aura un mouvement vertical ascensionnel exprimé par $H + H' - V$, et une vitesse angulaire ou de rotation $v = \frac{P \times D}{f. m x^2}$ (prob. 9), dans laquelle $P \times D$ étant le moment de la

résultante, on aura $P \times D = H \times Gr - R \times Er - H' \times Gh$. De sorte que la vitesse augulaire sera

$$v = \frac{H \times Gr - R \times Er - H' \times Gh}{\int . m x^2} \ldots \ldots (60).$$

Mais après que la lame a achevé son impulsion sur la proue, elle coule au dessous et aux deux côtés de la carène, et vient embrasser la poupe, sur laquelle elle doit exercer une nouvelle pression proportionnée à la hauteur de la vague.

Dans cet instant, la proue éprouvant une pression de moins et la poupe une pression de plus, celle-ci doit se relever et faire plonger la proue jusqu'à ce qu'une nouvelle lame vienne choquer encore l'avant.

Parcourons maintenant les diverses circonstances de ce mouvement, pour juger de sa plus ou moins grande irrégularité, de ses effets sur la mâture, et des moyens à prendre pour remédier aux dangers auxquels il expose.

Commençons par le mouvement ascensionnel du centre de gravité. Ce mouvement aura pour expression $H + H' - V$.

Or, dès l'instant que la proue sort de l'eau, la poupe s'y plonge. Mais d'après la méthode adoptée de donner plus de plein à l'arrière vers la flottaison qu'à l'avant, le plan arrière de la flottaison sera plus large que le plan avant; ce qui augmentera les poussées verticales de l'arrière, en diminuant celles de l'avant. Par conséquent, le mouvement de rotation commencera déjà à éprouver un obstacle, et le mouvement ascensionnel à avoir son effet.

A mesure que l'arrière continue à plonger et l'a-

vant à se relever, il se fait encore un changement plus grand, tant au mouvement de rotation qu'au mouvement ascensionnel, en raison de la plus grande différence qui se trouve entre la nouvelle flottaison de l'arrière et celle de l'avant.

La flottaison ne sera pas l'unique cause de l'altération du mouvement ascensionnel. Comme les poussées verticales dépendent des volumes submergés, il s'ensuit que si le volume qui entre dans l'eau n'est pas égal à celui qui en sort, il doit y avoir un mouvement vertical de haut en bas ou de bas en haut.

Les altérations dans les deux mouvemens continuent de même, jusqu'à ce que la lame découvrant la proue, elle commence à envelopper la poupe. Dans cet instant H diminue et H' augmente; de sorte que la rotation va toujours en diminuant, jusqu'à ce que les forces verticales de l'arrière ayant prévalu, la poupe se relève et la proue plonge.

Ici les variations vont recommencer dans un autre sens et par les mêmes raisons. D'abord la partie la plus pleine de la poupe commence à sortir de l'eau et fait enfoncer une partie de la proue qui, occupant moins de volume qu'elle, doit occasionner un mouvement ascensionnel au centre de gravité et au vaisseau.

Ensuite la poupe continuant à se relever et la proue à s'enfoncer, la différence entre les volumes sortis de l'eau et ceux qui y rentrent doit aller en augmentant, à cause que l'arrière est très-fin au-dessous de la flottaison, tandis que l'avant est assez plein.

Concluons donc de tout ceci que les forces verticales H et H' doivent varier à tout instant, et inter-

rompre le mouvement ascensionnel ainsi que celui de rotation.

Une autre cause d'irrégularité vient de ce que dès l'instant que le vaisseau s'incline, les projections des voiles sur les plans verticaux et sur le plan horizontal changent ; ce qui doit encore faire varier à chaque instant les forces R et H.

Quant à la grandeur du choc, il est évident qu'elle doit dépendre des forces horizontales opposées du vaisseau et de la lame, puisque ce choc doit être comme la vitesse du vaisseau et comme celle de la lame, et par conséquent comme la somme des vitesses de l'un et de l'autre.

C'est surtout à l'irrégularité et aux changemens subits des mouvemens ascensionnels et de rotation, autant au moins qu'à la force du choc, qu'il faut attribuer l'action qu'éprouve la mâture et les effets dangereux qui en résultent. Cette irrégularité d'efforts fatigue les fibres du bois, contrarie leur élasticité, et en les forçant à changer subitement de forme, finit par détruire leur force et par briser les mâts.

Cette irrégularité seroit moindre, si les forces H et H′ varioient moins. Il faudroit donc pour cela que la différence entre les volumes qui en même tems sortent de l'eau et s'y plongent, fût très-petite et presque nulle.

Or cela arriveroit si la forme de la proue étoit la même que celle de la poupe, ou si les vagues dans un très-petit instant s'élevoient peu au-dessus de la flottaison naturelle, c'est-à-dire, si le vaisseau obéissoit avec promptitude à l'action de la lame. Cette dernière qualité doit même être recherchée, afin d'éviter

les inondations auxquelles un vaisseau est exposé ; et pour cela il n'y a qu'à rendre plus grande la vitesse de rotation, en rendant le dénominateur $f.\ mx^2$ plus petit : ce qui se fera en rapprochant du milieu les poids placés aux deux extrémités.

Quant à la grandeur de l'impulsion de la lame, on peut la diminuer en rendant plus petite la résultante R des forces horizontales : c'est pourquoi on diminuera la voilure, et on évitera d'aller perpendiculairement au devant de la lame.

Nous avons supposé jusqu'à présent que les forces latérales étoient nulles. Mais souvent le vaisseau a un mouvement de rotation qui le fait arriver ou venir au vent, à l'instant même qu'une lame vient le frapper. Ce mouvement de rotation peut, suivant les circonstances, rendre le choc plus ou moins fort, selon qu'il tend à augmenter ou à diminuer la vitesse du vaisseau dans la direction de celle de la lame. On pourra donc profiter de cette circonstance pour affoiblir la grandeur du choc et prévenir les funestes accidens qui souvent en sont la suite.

D'après ce qui précède, nous sommes fondés à croire que, *pour diminuer l'irrégularité des mouvemens ascensionnels et de rotation du vaisseau, et prévenir l'inondation, il faudroit que la poupe eût à peu près la même forme et les mêmes lignes d'eau que la proue ; il faudroit que les poids, ceux surtout des deux extrémités fussent rapprochés du milieu ; que la voilure ne fût pas trop grande, afin de rendre plus petite la vitesse du vaisseau relative à la lame ; et enfin, que les mouvemens de rotation autour de l'axe vertical, contribuassent à éviter la lame, plutôt qu'à aller à sa rencontre.*

## PROBLÈME XLIX.

*Quelles sont les causes du roulis, et par quels moyens peut-on éviter les accidens dangereux auxquels il expose?* (Pl. II.)

Solution. Les lames viennent ordinairement du côté que souffle le vent : de sorte que le vaisseau ayant le vent debout ou navigant au plus près, se trouve exposé à des coups de lame qui viennent frapper sa proue et occasionner des mouvemens de tangage. Dans le vent arrière, c'est la poupe qui reçoit le choc. Mais quand on navigue vent travers, les lames venant frapper les flancs du navire tendent à faire rouler celui-ci autour de l'axe longitudinal et horizontal. La lame qui a produit l'inclinaison s'abaisse et coule au-dessous et des deux côtés du vaisseau, pour embrasser la partie de la carène située sous le vent; de là naît un mouvement de rotation en sens contraire, que la lame consécutive vient arrêter en en imprimant un autre semblable au premier.

Cela posé, soit (*fig.* 36) AIB la section verticale du vaisseau renfermant la résultante de toutes les impulsions particlles de la lame sur la longueur de la carène. Soit *f*E la direction de cette résultante; soit EZ la projection sur le plan AIB, de la direction de la résultante Z des forces verticales provenant des poussées de l'eau avant l'arrivée de la lame, et de celles occasionnées par la lame. Soit EY la projection sur le

même plan, de la direction de la résultante Y des forces horizontales de la lame; et $k$K la projection de la direction des forces latérales produites par l'impulsion du vent sur les voiles. Enfin, soit $x$X la projection de la direction de la résultante X des forces verticales agissant de haut en bas, auxquelles l'action du vent donne lieu.

Supposons qu'AB soit la ligne de flottaison naturelle qu'a le vaisseau avant l'agitation de la mer. Dès l'instant que ce vaisseau est abordé par une vague, l'impulsion F de celle-ci se décompose en deux forces, l'une verticale agissant de E vers Z, et l'autre horizontale agissant de E vers Y. La force Z tend à soulever le vaisseau verticalement et à faire plonger la partie qui est sous le vent. Les forces horizontales Y et K contrarient ce dernier mouvement; mais la force verticale X tend à le favoriser.

Quant aux résistances latérales de l'eau sur la carène, elles sont de nul ou de presque nul effet, à cause de l'égalité des momens qu'elles tendent à produire en sens contraire.

Ici, la symétrie des deux flancs du vaisseau fait disparoître la grande différence qui, dans les mouvemens de tangage, existe entre le volume qui sort de l'eau et celui qui s'y plonge; de sorte qu'on ne doit point avoir des mouvemens aussi irréguliers. Mais ce qu'on a souvent à craindre, c'est la force et l'étendue du choc, ainsi que la vivacité du roulis.

On peut remédier en partie à ce dernier inconvénient, en diminuant la vitesse angulaire du vaisseau. Et pour cela il n'y a qu'à porter les poids sur les

ailes, en les écartant du plan longitudinal, comme l'indique la formule générale $v = \frac{P \times D}{f. m x^2}$.

Quant à la diminution du choc, on pourroit employer le gouvernail pour faire présenter moins de surface à l'impulsion de la lame; on pourroit aussi diminuer la voilure, et donner une forme plus arrondie, plus rentrante et moins verticale à la partie de la carène qui est au-dessus de la flottaison.

## PROBLÈME L.

*Quelle est la position qu'il convient de donner au centre de gravité d'un vaisseau; ou bien de quelle manière doit-on distribuer tous les poids de la charge d'un navire, pour contribuer au développement de ses qualités essentielles, telles que la stabilité, la docilité au gouvernail, un tangage régulier, un roulis doux, et la conservation de la forme de la carène?*

Solution. Les formules (38 et 40) relatives à la stabilité du vaisseau indiquent assez clairement que le centre de gravité doit être rapproché du centre de déplacement, dans le cas où on voudroit augmenter cette qualité, de laquelle dépend la conservation du vaisseau.

D'après cela, il faut abaisser le centre de gravité, en allégeant les poids supérieurs, et plaçant les corps

d'autant plus bas que leur pesanteur spécifique est grande, au moins autant que la chose est possible. Voilà pourquoi on commence par mettre le lest en fer, ensuite le lest en pierre, et successivement les corps les moins pesans.

La facilité de gouverner exigeroit que le centre de gravité fût porté en avant du milieu, afin qu'en donnant plus de longueur au levier auquel est appliquée la force du gouvernail, on pût faire obéir aisément le vaisseau à cette force. Mais en allongeant trop ce levier, on peut nuire à la qualité de s'élever sur la lame.

La régularité des mouvemens de tangage et la facilité de s'élever sur la lame, prescrivent, comme nous avons vu précédemment, de rapprocher du milieu les poids du vaisseau, tandis que la douceur des mouvemens de roulis fait une loi de porter les poids sur les ailes, des deux côtés du plan longitudinal et diamétral.

Tout ce que nous avons déjà dit a fait sentir la nécessité de distribuer bien également et bien symétriquement, à droite et à gauche du plan longitudinal et diamétral, tous les poids dont le vaisseau est composé.

Sans cette égalité et cette distribution, le navire prendroit une bande qui nuiroit à la régularité tant nécessaire de ses mouvemens, et altéreroit plus ou moins toutes ses autres qualités.

Enfin, la solidité et la conservation de la forme de la carène demandent que le poids particulier de chaque tranche verticale ne surpasse pas celui d'un volume d'eau égal à cette tranche; afin que le poids

de chaque tranche détruisant la poussée verticale correspondante de l'eau, il n'en résulte par rapport à la quille et aux couples, aucun moment qui tende à les faire arquer ou à les désunir.

Il suit de là que les tranches du milieu ayant le plus de volume, ce sera dans cette partie aussi qu'il faudra transporter les corps les plus pesans; ayant soin d'alléger la partie de l'arrière dont les tranches occupent beaucoup moins d'espace.

# APPLICATION
## DES PRINCIPES PRÉCÉDENS
## A LA MANOEUVRE DES VAISSEAUX.

---

### PROBLÈME LI.

*Quel est l'effet des voiles carrées de l'avant, par rapport aux mouvemens progressifs et de rotation du vaisseau, suivant la position des voiles à l'égard du vent et de la quille?* ( Pl. III, fig. 37, 38, 39, 40, 41, 42.) (*)

Solution. Pour plus de simplicité nous remplacerons toutes les voiles carrées de l'avant par une voile

---

(*) Comme il y a des auteurs qui n'attachent pas tout à fait la même signification aux mots *arriver* et *venir au vent*, il importe que nous fassions connoître celle que nous avons adoptée.

Ainsi par *faire arriver un vaisseau* nous entendons le faire obéir au vent, c'est-à-dire, faire tourner sa prone du côté qui est sous le vent, en augmentant l'angle que fait du côté du vent la proue avec la direction du vent. De sorte que rendre plus grand l'angle ACV (fig. 37, 38, 39, 40, 41, 42) que fait la direction AC de la proue avec la direction VC du vent, sera faire arriver le vaisseau.

D'après cela, *faire venir au vent* signifiera faire tourner la proue vers l'origine du vent, mais par le chemin le plus court, ou bien diminuer l'angle ACV que fait du côté du vent la direction de la proue avec celle du vent.

Nous ajouterons que *brasser* signifie tirer les bras d'une vergue vers l'arrière.

unique équivalente, dont la droite MN sera la projection horizontale. Outre cela, soit VC la direction du vent; AB la projection horizontale de la quille, A étant l'extrémité de l'avant; B celle de l'arrière, et G le centre de gravité du vaisseau ou sa projection horizontale.

Supposons maintenant que la direction du vent fasse un angle aigu avec la quille du côté de la poupe, ou que le vent soit largue. Il peut arriver que les vergues soient brassées sous le vent, ou bien au vent, et que les voiles aient vent dedans ou vent dessus. Si on décompose la force perpendiculaire du vent sur chaque voile en deux forces, l'une suivant la route, et l'autre perpendiculaire à la route, on verra, 1.° (fig. 37), que, *quand on a brassé sous le vent et qu'on a vent dedans, le mouvement progressif a lieu vers l'avant; que la force latérale fait arriver, et que la force verticale produit une inclinaison sous le vent.*

2.° Que *si on a brassé au vent* (fig. 38), *c'est-à-dire, contrebrassé, ayant toujours vent dedans, le mouvement progressif se fait en avant, le vaisseau tend à venir au vent, et l'inclinaison a lieu côté du vent.*

Ainsi les mouvemens de rotation se font en sens contraire quand on contrebrasse, conservant toujours vent dedans.

3.° Que *si on brasse au vent, mettant le vent dessus* (fig. 39), *les mouvemens de rotation et d'inclinaison auront encore lieu sous le vent comme dans le premier cas; mais le vaisseau culera.*

Il sera maintenant aisé de voir ce qui arriveroit, si

la direction du vent faisoit un angle obtus avec la quille du côté de la poupe. (V. *les fig.* 40, 41 et 42.)

Donc, 1.° *lorsque les voiles de l'avant ont vent dedans, le vaisseau va toujours en avant.*

2.° *Quand elles ont vent dessus, le vaisseau cule.*

3.° *Quand les voiles de l'avant ayant vent dedans sont brassées sous le vent, elles font arriver le vaisseau, et le font incliner sous le vent.* (fig. 37 et 42.)

4.° *Si ayant vent dedans, elles sont brassées au vent, le vaisseau vient au vent et s'incline du côté du vent.* (fig. 38.)

5.° *Si elles sont brassées au vent, ayant vent dessus, elles font encore arriver, et inclinent le vaisseau sous le vent en le faisant culer.* (fig. 39 et 41.)

Donc *les mouvemens d'abattée et ceux d'inclinaison produits par les voiles de l'avant, ont lieu du même bord que l'on brasse, si on a vent dedans; et ils se font du bord opposé, si on met vent dessus. Dans ce dernier cas le vaisseau cule.*

## PROBLÈME LII.

*Quel est l'effet des voiles du grand mât et de celles du mât d'artimon, par rapport aux mouvemens progressifs et de rotation du vaisseau, d'après la position des voiles à l'égard du vent et de la quille?* (Pl. III, fig. 43, 44, 45, 46, 47 et 48.)

Solution. En raisonnant pour les voiles de l'arrière, comme nous l'avons fait pour celles de l'avant,

on verra que *les effets sont les mêmes, avec cette différence, que les voiles de l'arrière font venir au vent dans les mêmes circonstances que les voiles de l'avant font arriver ; et que les premières font arriver, lorsque les secondes font venir au vent.*

## PROBLÈME LIII.

*Quelles sont les particularités des focs et des voiles d'étai, relativement aux mouvemens progressifs et de rotation?* (Pl. III, fig. 49 et 50.)

Solution. Soit AB la projection horizontale de la quille. Soient AD, EF et HI les intersections respectives du plan des focs, des étais et des focs d'artimon, par un plan horizontal contenant la direction de la résultante des efforts du vent sur ces voiles.

Il est évident que si les focs et les étais étaient bordés suivant le plan longitudinal, la force perpendiculaire du vent sur chaque voile seroit une force horizontale et perpendiculaire à la quille : de sorte qu'elle ne produiroit qu'un mouvement de rotation.

Mais quand on porte le coin inférieur de la voile sous le vent ou au vent, le plan de cette voile et la direction de la force perpendiculaire du vent s'inclinent par rapport à l'horizon. Alors il faut concevoir la force du vent décomposée en trois autres forces perpendiculaires entr'elles, dont deux horizontales et une verticale. Les deux forces horizontales, nous pouvons les prendre, l'une parallèle et

l'autre perpendiculaire à la quille. On observera aussi que le vent frappant la face inférieure de la voile, le sens suivant lequel il agit sur cette voile est de bas en haut. (*Fig.* 49.)

Donc, *la force verticale du vent sur les focs et les étais contribuera à faire plonger la proue ou la poupe, selon que ces voiles seront à l'arrière ou à l'avant du centre de gravité du vaisseau, en supposant toutefois qu'elles soient bordées sous le vent.* (fig. 49.)

Soient maintenant C*a* et C*b* les deux forces horizontales du vent. L'inspection seule des figures montre 1.° que *les focs et les étais étant bordés sous le vent* (fig. 49), *produiront un mouvement progressif vers l'avant; et que bordés au vent* (fig. 50), *ils feront culer le vaisseau.*

2.° Que, *de quelque manière qu'ils soient bordés, les focs à l'avant du mât de misaine feront toujours arriver, et ceux à l'arrière du grand mât feront venir au vent.*

3.° Que *les voiles d'étai étant très-voisines du centre de gravité* G, *et le centre des forces du vent sur ces voiles pouvant se trouver à l'avant ou à l'arrière du même centre de gravité, feront, suivant les circonstances, arriver ou venir au vent.*

4.° Que *les focs auront beaucoup de force, ceux de l'avant pour faire arriver, et ceux de l'arrière pour faire venir au vent; tant à cause qu'ils sont fort éloignés du centre de gravité total, qu'à cause que leurs projections verticales doivent différer peu des surfaces mêmes.*

5.° Que *les focs et les étais tendront à soulever*

*la partie du vaisseau située sous le vent, et par conséquent à diminuer la bande du navire, tant qu'ils seront bordés sous le vent* (fig. 49). *Ils augmenteroient au contraire cette bande, s'ils étoient bordés au vent* (fig. 50).

6.° Enfin, que *ces voiles sont très-propres à faire gagner au vent, lorsqu'on navigue au plus près,* à cause qu'on peut rendre très-petit l'angle qu'elles font avec la quille.

## PROBLÈME LIV.

*Quelles sont les voiles qu'on doit employer suivant la direction et la force du vent?*

Solution. Quand on navigue vent arrière, on ne peut employer que des voiles situées à différentes hauteurs. Car autrement celles de l'arrière abriteroient en tout ou en partie les voiles de l'avant, qui alors deviendroient inutiles. Mais une observation applicable presque à tous les cas, c'est que l'équilibre de rotation autour de l'axe vertical exige que la voilure de l'avant soit à peu près équivalente à celle de l'arrière, afin que les forces qui tendent à faire arriver le vaisseau soient égales à celles qui tendent à le faire venir au vent.

Ainsi pour le vent arrière on pourra se servir de la grande voile, du petit hunier et du petit perroquet, ainsi que de leurs bonnettes; ou bien du grand hunier, du grand perroquet et de la misaine, employant les bonnettes, soit pour agrandir la voilure,

soit pour rétablir l'équilibre de rotation. On ajoutera quelquefois avec avantage le grand ou le petit perroquet volant.

Ceci suppose que le tems ne soit pas forcé, et que les inclinaisons du vaisseau de l'avant à l'arrière ne soient pas dangereuses. Autrement il faudroit employer les voiles les moins hautes : par exemple, la grande voile avec le petit hunier, ou le grand hunier et la misaine, ou bien l'artimon et le petit hunier, à moins que la force du vent n'obligeât à mettre à la cape et à naviguer avec une seule voile, comme nous le dirons ci-apres.

Dans toutes les directions du vent, les voiles s'abritent d'autant moins que le vent est moins largue; mais arrivés au plus près, on peut les déployer toutes. Néanmoins il faut toujours avoir l'attention de n'employer les voiles hautes, telles que les perroquets et les perroquets volans, que quand le vent n'est pas trop violent ; que la bande du navire n'est pas trop grande, et qu'on n'a pas à craindre du tangage.

## PROBLÈME LV.

*Dans quel ordre faut-il faire les différentes manœuvres par lesquelles on oriente les voiles, et celles par lesquelles on les soustrait à l'action du vent?*

Solution. Déferler, brasser et border, telles sont les opérations à faire quand on veut appareiller. Déborder, carguer les cargue-points, les cargue-fonds et

les cargue-boulines ; mettre toutes ces cargues à joindre, et ferler ensuite, telles sont encore les manœuvres à faire pour carguer les voiles.

Mais dans un tems forcé, il importe d'exécuter ces manœuvres avec certaines précautions dont nous allons parler.

Pour appareiller un hunier, on le brassera d'abord à recevoir vent dedans; on le bordera ensuite sous le vent. Après avoir bordé son écoute à joindre, on passera au vent où on bordera aussi à joindre.

Pour appareiller une basse voile, on commencera par l'amurer; on filera du bras du vent, et tenant la voile en ralingue, on la bordera vivement.

Si on veut carguer un hunier, appuyez d'abord le bras du vent, amarrez-le bien roide sans larguer la bouline, et abraquez celle-ci à mesure que le hunier est sur le ton. Ensuite débordez au vent et faites abraquer ce cargue-point. Alors les matelots agissant vivement sur les cargues, on largue la bouline, et après avoir mis à joindre au vent, on passe sous le vent, on déborde, on met le plus vivement possible toutes les cargues à joindre, et on brasse enfin le hunier en pointe, afin de le serrer plus aisément.

Enfin, lorsqu'il faut carguer une basse voile, on cargue d'abord le point de dessous le vent, la cargue-bouline et les cargue-fonds ; et après avoir mis ce point à joindre, on lève le grand lof, on largue la bouline, on brasse au vent pour empêcher la voile de se capeler sur l'étai, ayant toujours l'attention de mettre les cargues à joindre le plus vivement possible.

## PROBLÈME LVI.

*Brasser et border une voile, de manière à mettre vent dedans, et à courir avec le plus de vitesse possible sur une route donnée.* (Pl. III. fig. 51.)

Solution. Soit AB la projection horizontale de la quille; MN celle de la voile; VC la direction horizontale du vent; CE la route à suivre.

Cela posé, on disposera la vergue MN de manière qu'elle soit en avant du mât; on tirera vers l'arrière le bras N qui est sous le vent, jusqu'à ce que l'angle ECM de la route avec la vergue soit tel que sa tangente soit la moitié de la tangente de l'angle d'incidence VCN du vent sur la voile.

Pour déterminer l'angle ECM, on aura une table construite d'après la formule tang. $a = \frac{3 \text{ tang. } b}{1 - 2 \text{ tang.}^2 b}$, dans laquelle $a$ = ang. VCE et $b$ = ang. ECM ; ou d'après celle-ci qui en dérive

$$\text{tang. } b = \frac{-3 \pm \sqrt{9 + 8 \text{ tang.}^2 a}}{4 \text{ tang. } a} \ (*).$$

(*) Pour démontrer ces deux formules, j'observe que celle du problème 45, appliquée à la figure 51, donne

tang. (ACM + ACE) = $-\frac{1}{2}$ tang. (ACM + BCV) = $-\frac{1}{2}$ tang. VCN.

Or VCN = 180° — VCM et VCM = VCE — ECM;

Par conséquent VCN = 180° — ($a$—$b$).

Outre cela ACM + ACE = ECM = $b$.

Donc, après la substitution de ces valeurs dans 1.° équation on aura

Après avoir brassé, on tendra bien la voile en amarrant l'amure et l'écoute.

## PROBLÈME LVII.

*Brasser en conservant le vent dedans, mais de manière que le mouvement d'abattée que tend à produire la voile ait lieu en sens contraire.* ( Pl. III, fig. 52. )

Solution. On brassera au vent de manière à conserver le vent dedans, comme la figure 52.^e le montre ; car alors la perpendiculaire CE à la voile suivra le mouvement que fera la vergue du côté du vent, et passera de ce même côté.

---

$$\text{tang. } b = -\tfrac{1}{2}\,\text{tang. } [\,180° - (a-b)\,] = \tfrac{1}{2}\,\text{tang. } (a-b)$$

ou

$$2\,\text{tang. } b = \text{tang. } (a-b) = \frac{\text{sin. } (a-b)}{\text{cos. } (a-b)}.$$

Substituant les valeurs de sin. $(a-b)$ et de cos. $(a-b)$, et divisant ensuite les deux termes de la fraction par cos. $a$ cos. $b$, on trouvera enfin

$$2\,\text{tang. } b = \frac{\text{tang. } a - \text{tang. } b}{1 + \text{tang. } a\ \text{tang. } b}.$$

Faisant maintenant disparoître le dénominateur, et dégageant tang $a$, on aura

$$\text{tang. } a = \frac{3\,\text{tang. } b}{1 - 2\,\text{tang.}^2\, b}.$$

Pour obtenir tang. $b$, on aura une équation du second degré, qui, résolue par la méthode ordinaire, donnera pour tang. $b$ la valeur ci-dessus.

## PROBLÈME LVIII.

*Brasser de manière à mettre vent dessus.* (Pl. III.)

Solution. Il est évident (fig. 53) qu'il suffit de brasser au vent jusqu'à ce que l'angle de la vergue avec la quille du côté de l'arrière, soit plus petit que celui que fait la direction du vent du même côté ; ce qui arrivera l'instant après que la voile aura fasayé.

Dans toutes ces manœuvres on brassera de manière que la vergue soit toujours en avant du mât.

## PROBLÈME LIX.

*Un vaisseau étant sous voile, on demande de le faire venir au vent.* (Pl. IV.)

Solution. Dans le cas (fig. 54) où ayant vent dedans, on a brassé sous le vent, ce qui est le plus ordinaire, il faut suspendre l'effet des voiles de l'avant et mettre la barre sous le vent.

Si ayant vent dedans (fig. 55), on avoit brassé au vent, ce seroit l'effet des voiles de l'arrière qu'il faudroit détruire, et celui des voiles de l'avant qu'il faudroit conserver, excepté les focs et les voiles d'étai, mettant toujours la barre du gouvernail sous le vent.

Si on avoit vent dessus (fig. 56), et qu'on eût brassé au vent, il faudroit suspendre l'effet des voiles de l'avant et mettre la barre au vent.

Dans le cas où le vaisseau auroit de la peine à venir au vent, ou bien dans le cas où il importeroit de faire vivement l'abattée, on brasseroit à l'autre bord les voiles carrées dont la suppression a commencé l'abattée; ou bien on leur mettroit vent dedans en brassant au même bord.

Si tous ces moyens ne suffisoient pas, on pourroit faire embossure, comme nous le dirons bientôt. On augmenteroit encore la force d'abattée en employant les étais d'artimon, et en rendant très-petit l'angle des vergues avec la quille, ou en faisant tomber à angle droit la direction du vent sur les voiles.

Enfin, la force pour venir au vent augmenteroit, si le centre de gravité du vaisseau étoit plus à l'arrière, ou plus à l'avant, selon qu'on emploieroit les voiles de l'avant ou celles de l'arrière pour faire venir au vent. Et pour cela il faudroit faire passer l'équipage tout à fait à l'arrière ou à l'avant. Dans les cas extrêmes où le vaisseau resteroit immobile et en danger, après avoir amené le petit mât de hune et les mâts supérieurs, on couperoit le mât de misaine.

## PROBLÈME IX.

### *Un vaisseau étant sous voile, on veut le faire arriver.* (Pl. III.)

**Solution.** S'il y a vent dedans (fig. 57), et qu'on ait brassé sous le vent, on supprimera les voiles de l'arrière, on mettra la barre au vent et on exposera les focs, s'ils ne le sont pas : c'est le cas le plus ordinaire.

Dans le cas plus rare (*fig.* 58) où ayant vent dedans, on auroit brassé au vent, il faudroit suspendre l'effet des voiles carrées de l'avant, celui des voiles d'étai de l'arrière, conserver celui des voiles latines de l'avant, ainsi que celui des voiles carrées de l'arrière, et mettre la barre au vent.

Si le vaisseau avoit de la peine à arriver, on brasseroit sous le vent les voiles de misaine (*fig.* 59).

Si, plus rarement encore (*fig.* 60), on avoit vent dessus, ayant brassé au vent, on suspendroit l'effet de toutes les voiles de l'arrière, conservant celui de toutes les voiles de l'avant, et mettant la barre au vent ou sous le vent, selon que le vaisseau va en avant ou qu'il cule.

On augmenteroit la force d'arrivée en faisant passer l'équipage tout à fait à l'arrière ou à l'avant, selon qu'on n'emploieroit que les voiles de l'avant ou celles de l'arrière; ce qui transporteroit à l'arrière ou à l'avant le centre de gravité.

On pourroit encore abattre en faisant embossure.

Enfin, dans le cas extrême où on seroit forcé de n'exposer que très-peu de voiles au vent, et où le vaisseau se trouveroit en danger faute de ne pouvoir arriver, il faudroit amener les mâts supérieurs de l'arrière; et si cela ne suffisoit pas, on couperoit l'artimon et même le grand mât, si la chose devenoit indispensable.

## PROBLÈME LXI.

*Appareiller, le bout étant évité au vent, le courant étant nul, ou bien venant du même côté que le vent.* (Pl. IV.)

Solution. Dans tout appareillage, on se propose de faire abattre le vaisseau, de manière à mettre vent dedans, et à se diriger suivant une route qui est ordinairement à babord ou à tribord. Mais comme le vaisseau est retenu par l'ancre, il faut l'en dégager avant de produire l'abattée, et il faut disposer les voiles et les vergues de manière qu'à l'instant où l'abattée est faite, on puisse faire route. Ainsi, dégager l'ancre du fond, faire abattre le vaisseau du côté opposé à celui vers lequel on veut faire route, et disposer les voiles de manière à suivre cette route après l'abattée, sont les trois objets qu'il faut remplir dans l'appareillage. D'après cela, nous établirons la règle suivante.

Commencez par virer sur l'ancre jusqu'à ce qu'elle soit à pic. A cet instant, si on veut abattre sur tribord, mettez la barre à tribord (*fig.* 61); brassez au plus près, babord devant et tribord arrière.

Lorsque le vaisseau aura assez abattu (*fig.* 62), contre-brassez à l'avant et faites route, après avoir mis l'ancre au capon et la barre droite.

Ou bien, mettez en panne, jusqu'à ce que l'ancre soit tout à fait retirée. Dans un cas pressé, on cou-

peroit le câble et on feroit route. L'abattée faite, on brasse tribord avant, mettant le vent dedans.

Si on vouloit abattre sur babord (*fig.* 63 et 64), il faudroit brasser tribord avant et babord arrière, mettant la barre à babord, et après l'abattée on brasseroit babord avant.

## PROBLÈME LXII.

*Appareiller, le bout étant évité entre le vent et le courant, recevant le vent dedans et la direction du vent étant en sens contraire à celle du courant.*

Solution. Pour abattre sur tribord, brassez tribord devant et babord arrière; mettez la barre du gouvernail à babord ou à tribord, suivant que le vaisseau va en avant ou qu'il cule.

On brasseroit en sens contraire dans le cas où on voudroit abattre sur babord.

Dans tous ces cas, il faut, après l'abattée, mettre partout vent dedans, en brassant sous le vent les voiles qui ont vent dessus.

## PROBLÈME LXIII.

*Appareiller dans le cas où les voiles qu'on pourroit exposer au vent, ne seroient pas suffisantes avec le gouvernail, pour faire assez abattre le vaisseau; ce qui peut arriver, dans un gros tems où il seroit dangereux d'exposer trop de voiles au vent; ou bien, dans le cas où le vaisseau auroit très-peu d'espace pour faire son abattée, et où l'on craindroit de tomber sur quelque objet voisin, en mettant à la voile.* (Pl. IV.)

Solution. Si on veut abattre sur tribord, fixez un cordage à bord, le plus en arrière que vous pourrez. Ce même cordage, fixez-le aussi par son autre extrémité au cabestan et virez de force, dès l'instant que l'ancre sera à pic, mettant la barre à tribord ou à babord suivant que le vaisseau cule ou qu'il va en avant.

Pour rendre raison de cet abattage, soit A (*fig.* 65) la proue du vaisseau; B sa poupe; I le cabestan; IC le cordage fixé à l'arrière C du vaisseau, et G le centre de gravité.

Ce cordage sera tendu suivant CE, avec une force que nous représenterons par CE, et qui tirera le point C selon CE. Mais cette force se décomposera en deux autres, l'une suivant CH parallèle à la quille ou au plan longitudinal et diamétral, et donnera au vais-

seau un mouvement vers l'avant, en même tems qu'elle tendra à produire un mouvement de rotation de gauche à droite, d'autant plus grand que la tension suivant CH sera plus forte et que le levier CD sera plus long.

Quant à la force CF, elle fournit, il est vrai, un moment exprimé par CF × GD, lequel contrarie celui de la force CH; mais si on observe que l'angle CID est très-petit, on verra que la force CF doit être fort petite, et ne produire qu'un effet moindre que celui de la tension CH. Voilà pourquoi on éloigne tant qu'on peut vers l'arrière le point C du cabestan I.

Remarque. Dans tous les appareillages, il faut éviter, tant qu'on peut, d'abattre du côté que se trouve l'ancre, pour que celle-ci ne s'embarrasse pas dans le taille-mer. Dans le cas où on seroit forcé d'abattre du même côté, il vaudroit mieux filer, et après l'abattée mettre l'ancre sous le vent avant de la retirer; ce qui se feroit en virant de bord. On pourroit aussi mettre en panne après avoir abattu, et ne faire route qu'après avoir mis l'ancre au capon.

## PROBLÈME LXIV.

### *Virer de bord, vent devant.* (Pl. IV.)

Solution. Dans tout virement de bord, il faut considérer le vaisseau dans deux états différens, dont l'un est celui où le vaisseau vient au vent, et l'autre, celui où il arrive. Dans le premier de ces états, on

distinguera deux circonstances; savoir, celle où on a le vent dedans, et celle ensuite où on a le vent dessus, sans avoir passé le lit du vent. Dans le second état, on observera le moment où le vent ayant changé de bord, on aura le vent dessus, et celui enfin où on aura vent dedans.

Examinons ce qu'il faut faire dans ces divers cas.

1.° On supprimera les voiles de l'avant, ou bien on leur mettra vent dessus, pour virer plus vivement, et on passera la barre sous le vent. (*fig.* 66 *et* 67.)

2.° Dès l'instant que le vaisseau culera, ce qui arrivera tout de suite après que les voiles auront fasayé, on changera la barre, on éventera les voiles de l'avant, supprimant celles de l'arrière, ou bien contrebrassant celles-ci et leur conservant vent dessus, si on veut virer plus vivement. (*Fig.* 68, 69 et 70.) Cette dernière manœuvre doit être faite avec beaucoup de promptitude.

3.° Le moment où le vaisseau ayant passé le lit du vent sera à l'autre bord, on brassera sous le vent, de manière à mettre le vent dedans; et si on a besoin encore d'arriver, on mettra la barre du gouvernail au vent. (*Fig.* 71.)

4.° Lorsque l'arrivée sera suffisante on mettra la barre droite, et on orientera les voiles de l'arrière dont on aura besoin. (*Fig.* 72.)

## PROBLÈME LXV.

### *Virer de bord vent arrière.* (Pl. IV.)

Solution. 1.° Supprimez l'effet des voiles de l'arrière et mettez la barre au vent. (*Fig.* 73 *et* 74.)

2.° Si lorsque le vaisseau sera dans le lit du vent, on veut faire route, on changera la barre, on orientera les voiles de l'arrière, et on remettra la barre droite. (*Fig.* 75.)

3.° Sinon, on continuera l'abattée, et dès l'instant que les voiles de l'avant auront vent dessus, on les supprimera et on brassera sous le vent les voiles de l'arrière. (*Fig.* 76, 77 *et* 78.)

4.° On brassera sous le vent les voiles de l'avant, et on mettra la barre droite, dès qu'on sera assez venu au vent. (*Fig.* 79.)

## PROBLÈME LXVI.

### *Mettre en panne.* (Pl. V.)

Solution. Cette manœuvre consiste à détruire le mouvement progressif du vaisseau; et comme des voiles égales en surface et qui font un même angle avec la direction du vent, tendent à imprimer au vaisseau dans le sens de la route le même mouvement progressif, il s'ensuit que la difficulté se réduit ici à disposer des voilures égales, de manière que la direction du mouvement progressif de l'une soit en

sens contraire de celle du mouvement progressif imprimé par l'autre.

Mais en détruisant le mouvement progressif, il faut en même tems tâcher de détruire les mouvemens de rotation autour de l'axe vertical, et diminuer autant que possible la bande que prend le vaisseau sous le vent.

Or, on empêchera le vaisseau de venir au vent ou d'arriver, si la voilure de l'avant est tellement combinée qu'elle produise, relativement à l'axe vertical qui passe par le centre de gravité, un mouvement égal à celui que fournit la voilure de l'arrière. D'après cela, si l'une de ces voilures étoit un peu moins grande que l'autre, il faudroit qu'elle fût proportionnellement plus éloignée que cette autre de l'axe vertical, ou bien qu'elle portât moins.

Pour diminuer la bande du vaisseau, il faudroit prendre le moins de voilures possible, et les voiles les moins hautes.

D'après cela on pourra mettre en panne, en choisissant les deux huniers, ou la grande voile et la misaine, ou bien l'artimon et la misaine, ou encore le perroquet de fougue et le petit hunier.

Au reste, on prendra à l'avant diverses voilures à peu près égales à celles qu'on prendra à l'arrière, et de manière que ce qui manque de surface à l'une de ces voilures, soit compensé par une distance à l'axe vertical, proportionnellement plus grande; ensuite on observera celle de toutes ces voilures avec laquelle le vaisseau est le moins fatigué.

Les formules déjà démontrées pourroient pour

chaque vaisseau et pour un arrimage connu, faire connoître la voilure qu'il convient de choisir.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à voir comment il faut brasser pour que le vaisseau n'ait point de mouvement progressif.

Pour cela (*fig.* 80), brassez à l'avant sous le vent, et au vent à l'arrière; ce qui mettra vent dedans à l'avant, et vent dessus à l'arrière. Mais il faut observer de faire porter plus ou moins l'une de ces voiles, suivant qu'elle aura moins ou plus de surface ou qu'elle sera moins ou plus éloignée de l'axe vertical que l'autre.

Dans le cas où il resteroit encore un petit mouvement progressif, on emploieroit le gouvernail; mais celui-ci produiroit alors un mouvement de rotation qu'on pourroit détruire en augmentant ou en diminuant la voilure à l'avant ou à l'arrière, ou bien en faisant porter plus ou moins certaines voiles.

On auroit pu aussi mettre vent dessus à l'avant et vent dedans à l'arrière. (*Fig.* 81.)

## PROBLÈME LXVII.

### *Faire servir quand on est en panne.* (Pl. V, fig. 82.)

Solution. Pour cela, il suffit de mettre vent dedans aux voiles qui ont vent dessus, en brassant sous le vent; d'orienter plus ou moins de voiles suivant le tems; de mettre la barre droite, si on n'a point d'abattée à faire; et de la mettre au vent ou sous le vent, selon qu'on veut arriver ou venir au vent.

## PROBLÈME LXVIII.

*Mettre à la cape.*

**Solution.** Lorsqu'il vente grand frais et qu'on craint de trop grandes inclinaisons, il faut commencer par carguer les voiles hautes, et ne garder que les voiles basses. Si le vent augmente, on diminue encore les voiles basses, en en supprimant quelqu'une à l'avant et à l'arrière. Mais si le vent devient plus violent, on ne conserve qu'une basse voile, à l'avant ou à l'arrière, suivant qu'on présume devoir être dans le cas d'arriver ou de venir au vent. Enfin dans le cas extrême où on ne pourroit exposer aucune voile au vent, on navigueroit à sec, vent arrière, pour éviter la violence du choc des lames, à laquelle on seroit exposé en allant à leur rencontre. Mais alors, si on avoit besoin de venir au vent ou d'arriver pour éviter un écueil, et que le gouvernail ne fût pas suffisant, on seroit forcé de couper le mât de misaine ou le mât d'artimon, et quelquefois même le grand mât.

## PROBLÈME LXIX.

*Reconnoître si on est au vent ou sous le vent d'un objet.* (Pl. V, *fig.* 83.)

**Solution.** Soit A, un vaisseau faisant la route AF; VC la direction vraie du vent; soient aussi D et E,

les deux objets par rapport auxquels il s'agit de reconnoître la position du vaisseau.

La première opération à faire et la plus difficultueuse est de déterminer la direction vraie du vent par le moyen de sa direction apparente donnée par la girouette, en employant la formule 57.^e du problème 43.

La direction vraie du vent reconnue, on examinera à quel air de vent correspond la perpendiculaire CB au lit du vent. Ensuite on visera avec le compas de variation suivant l'air de vent CB, et le vaisseau A sera au vent de l'objet D qui reste à la gauche, et sous le vent de l'objet E qui se trouve à sa droite.

## PROBLÈME LXX.

*On demande un moyen de reconnoître en mer la supériorité ou l'infériorité de la marche de deux vaisseaux.* (Pl. V, fig. 84.)

Solution. Soient deux vaisseaux A et B. Le premier, pour reconnoître s'il a ou non l'avantage de la marche sur le second, doit mettre d'abord la même voilure, afin de courir sur une route AD parallèle à celle BE que suit le vaisseau B; il faut qu'ensuite il relève l'autre vaisseau, et reconnoisse sur quel air de vent AB ils se trouvent placés l'un et l'autre. Cela fait, il continuera sa route sur la parallèle AD, et quelque tems après, arrivé en A', il relevera de nouveau le vaisseau B que nous supposerons en B'. Ce relèvement fera connoître l'angle B'A'D qui, comparé à l'angle BAD donné par le premier relèvement,

fera juger de la supériorité ou de l'infériorité de la marche du vaisseau A sur celle du vaisseau B, suivant que le second angle B'A'D sera plus grand ou plus petit que le premier angle BAD.

En effet, si les deux vaisseaux étoient, lors de la seconde observation, sur le même air de vent CB' que lors de la première, les angles BAC et B'CA' seroient égaux et le quadrilatère ABB'C seroit un parallélogramme; ce qui donneroit AC = BB'. Mais l'angle B'CA ne peut devenir plus grand ou plus petit qu'il n'est, sans que le point C ne se porte plus en avant, ou qu'il ne reste plus en arrière en H; ce qui doit donner pour le premier cas, AA' > BB' et pour le second AH < BB'.

Pour pouvoir estimer au juste l'avantage ou le désavantage de la marche de l'un sur l'autre, il faudroit connoître quelle est la distance des deux vaisseaux au moment de l'une des deux observations; ce qui ne se peut que par une estimation assez grossière et assez inexacte.

## PROBLÈME LXXI.

*Un vaisseau étant au vent d'un autre, on demande comment le premier pourra atteindre le second, et par quels moyens le second pourra éviter le premier.* (Pl. V, fig. 85.)

Solution. Soit VE la direction du vent, et BC celle du vaisseau B situé sous le vent du vaisseau A. Celui-

ci, pour atteindre le premier, non-seulement doit suivre une route AC dont le prolongement puisse couper la route BC de l'autre vaisseau; mais encore disposer sa marche de manière qu'il arrive au point de rencontre C des deux routes, en même tems que l'autre.

Or, si des divers points de la route AC, on conçoit des parallèles A'B', A"B", etc., à l'air de vent AB sur lequel les deux vaisseaux se sont relevés d'abord; il est visible que pendant que le vaisseau B parcourra les espaces BB', B'B" et B"C, il faudra que le vaisseau A parcoure les espaces AA', A'A" et A"C; ce qui arrivera si le vaisseau A conserve le vaisseau B constamment sur le même air de vent.

Quant au choix de la route AC que doit prendre le vaisseau chasseur A, il dépend du plus ou moins de supériorité de sa marche; car plus l'angle BAC sera aigu, plus les espaces AA', A'A", etc., devront être grands relativement aux espaces BB', B'B", etc. Mais aussi le point de rencontre C sera d'autant plus plus près que l'angle BAC sera petit, par la raison que cet angle diminuant, le côté BC qui lui est opposé doit diminuer aussi.

Le vaisseau chassé B n'a pas d'autre ressource pour éviter la rencontre du chasseur A, que de changer souvent de route, et surtout de choisir celle suivant laquelle sa marche est la plus avantageuse. En manœuvrant ainsi, il pourra arriver, ou que le vaisseau chasseur, obligé de virer souvent de bord, perde ou affoiblisse ses avantages, ou que sa marche sous quelques-unes de ces nouvelles allures soit inférieure, ou que la nuit venant dérober à la vue le vaisseau

chassé, celui-ci en profite pour tenir une route toute opposée à celle que le chasseur pourroit présumer. Au reste, c'est la connoissance des qualités de son vaisseau, comparées, s'il est possible, à celles du vaisseau chasseur, qui doit déterminer le choix des manœuvres à faire et de la route à suivre.

## PROBLÈME LXXII.

*Quelles manœuvres doivent faire deux vaisseaux, l'un pour atteindre celui qui est au vent, et l'autre pour éviter le vaisseau qui lui donne chasse?* (Pl. V, fig. 86.)

Solution. Soit A le vaisseau chasseur et B le vaisseau chassé. Celui-ci doit gagner au vent le plus qu'il lui est possible, parce qu'en manœuvrant ainsi il s'éloigne de l'autre vaisseau, tandis qu'il s'en approcheroit en suivant toute autre direction. Le vaisseau A doit, par la raison contraire, faire route au plus près du vent possible, ce qui tendra à l'approcher du vaisseau B. Lorsque le chasseur A sera arrivé en A′, ayant le vaisseau B′ par son travers, il virera de bord suivant l'autre ligne du plus près A′A″, et la suivra jusqu'à ce qu'il relève l'autre vaisseau en B″ encore par son travers. Alors il virera encore de bord suivant la première ligne du plus près A″A‴, et continuera toujours de la même manière, jusqu'à ce qu'il aborde le vaisseau B par son travers.

Il est aisé de voir que le vaisseau A, en suivant la première ligne du plus près AD, fait une partie du

chemin que parcourt le vaisseau B dont il s'approche dans le sens de la route; tandis que tout le tems que le même vaisseau A suivra l'autre ligne du plus près, il diminuera l'intervalle qui séparoit les routes des deux vaisseaux.

On a choisi l'instant où le vaisseau A aperçoit par son propre travers l'autre vaisseau, pour faire virer de bord au premier, afin de mieux juger par le tems qu'on y met, si on a une marche beaucoup plus avantageuse; ensuite, afin de mettre une certaine régularité dans la manière de manœuvrer, et aussi, à cause de la facilité qu'on a de reconnoître lorsqu'un vaisseau est par le travers de celui où l'on est.

Le vaisseau A auroit pu, la première fois qu'il a été par le travers de l'autre, virer de bord et continuer la bordée, jusqu'à ce qu'il fût dans les eaux du vaisseau B, c'est-à-dire, sur la même route BC. Par cette manœuvre, il n'augmentoit point l'espace qu'il avoit à parcourir, et il gagnoit le tems que l'on perd à virer de bord.

Mais cette méthode, qui peut être bonne quand les deux routes sont peu éloignées l'une de l'autre, a l'inconvénient de tenir d'abord le vaisseau chassé à une trop grande distance du chasseur, et d'exposer à perdre le premier de vue, lorsque surtout la nuit approche.

Dans ce dernier cas, le vaisseau chassé n'a pas de meilleur moyen que de changer de route et de choisir celle où sa marche est la plus avantageuse.

## PROBLÈME LXXIV.

### *Sonder à la voile.*

Solution. Cette manœuvre exige qu'on amortisse ou qu'on détruise pour quelques instans l'aire du vaisseau, afin de pouvoir jeter la ligne de sonde, de manière que le plomb qui la termine tombe à peu près verticalement ; de n'être pas obligé d'avoir une ligne trop longue, et surtout afin de ne pas se tromper dans l'estimation de la profondeur du fond.

La manière la plus sûre et la plus exacte seroit de mettre tout-à-fait en panne : sinon, on se contentera de diminuer l'aire du vaisseau en larguant les écoutes, ou bien en mettant les voiles en ralingue, ou encore en mettant vent dessus sur une ou deux voiles de l'arrière, et la barre du gouvernail sous le vent, pour faire venir le vent. On pourroit encore laisser les voiles de l'avant telles qu'elles sont, larguer les écoutes de celles de l'arrière, et mettre vent dessus au perroquet de fougue ou à l'artimon, employant le gouvernail pour détruire les arrivées du vaisseau.

## PROBLÈME LXXIV.

### *Mouiller par un beau tems.* (Pl. V.)

Solution. La difficulté qu'il y a de détruire dans un instant nécessaire la vitesse du vaisseau, et de plus le danger d'échouer, obligent à n'aller au mouillage qu'à petites voiles, et à les diminuer insensiblement, de

manière que le vaisseau ait perdu son aire quand il arrive à l'endroit où il doit jeter l'ancre. La sûreté du vaisseau au mouillage dépend de la bonté du fond, et de la diminution des efforts que font le vent et les courans pour déplacer le vaisseau.

Afin d'obtenir le premier avantage, il faut avoir soin de sonder auparavant l'endroit où on pourra jeter l'ancre, et connoître la nature du fond jusqu'à une certaine distance. On se procurera le second, en choisissant un lieu le plus à l'abri possible du vent qui souffle, et surtout des vents violens qui règnent dans certains parages; et enfin en faisant en sorte que le vaisseau présente soit au vent, soit aux courans, le moins de surface possible.

Ainsi, disposer les choses de manière que le vaisseau ait perdu sa vitesse à l'instant où il arrive au lieu du mouillage; faire abattre le vaisseau, de manière qu'il ait le bout évité au vent ou au courant, ou bien entre le vent et le courant, et mouiller l'ancre après l'abattée : tel est le triple objet qu'on doit se proposer quand il s'agit de mouiller.

D'après cela, on peut établir la règle suivante :

1.° (*Fig.* 87.) Carguez les basses voiles excepté l'artimon. Des voiles hautes, ne conservez d'abord que les huniers et le perroquet de fougue.

2.° A mesure que vous êtes à une petite distance du lieu où vous devez mouiller, mettez les huniers sur le ton, ne navigant qu'avec le perroquet de fougue, réservant l'artimon pour l'instant où il faudra abattre.

3.° (*Fig.* 88.) Lorsque le navire est presqu'au lieu

du mouillage, commencez l'abattée bordant l'artimon, s'il ne l'est pas.

4.° (*Fig.* 89.) A l'instant où le vaisseau cule, jetez l'ancre qui doit être prête au capon, et dès qu'on aura le bout évité au vent, ou que le vaisseau culera, changez la barre.

5.° (*Fig.* 90.) Laissez culer pendant quelques instans jusqu'à ce que vous fassiez à peu près tête à l'ancre, et enfin carguez et pliez toutes les voiles.

6.° (*Fig.* 91 *et* 92.) Si l'ancre mouillée ne fournissoit pas un point d'appui suffisant, il faudroit en mouiller une seconde, et pour cela on abattroit du côté où on veut jeter cette seconde ancre.

Arrivé à cet endroit (*fig.* 93 *et* 94), on laisseroit tomber l'ancre d'affourche en même tems qu'on viendroit au vent; on fileroit du câble à proportion, et enfin on se trouveroit placé le bout au vent entre les deux ancres. Alors on plieroit toutes les voiles et on se trouveroit placé comme le représente la fig. 95.

Dans le cas où la force du courant obligeroit d'éviter le bout à ce même courant, on manœuvreroit à l'égard de celui-ci, comme on l'a fait relativement à la direction du vent; c'est-à-dire qu'on ne laisseroit tomber l'ancre qu'à l'instant où on auroit le bout évité au courant, le vaisseau ayant perdu à peu près toute sa vitesse.

# PROBLÈME LXXV.

## *Mouiller par un gros tems.*

Solution. Dans ce cas, la force du vent étant suffisante pour faire parcourir au vaisseau un assez long espace, par la seule impulsion qu'elle exerce sur le gréement, ainsi que sur la partie extérieure de la coque, on carguera les basses voiles, on mettra les huniers sur le ton, on les carguera même, et on pourra conserver l'artimon pour produire l'abattée, si toutefois le tems le permet. On aura surtout l'attention de se tenir au vent de l'endroit où on veut mouiller, et on disposera les choses de manière que toutes les voiles soient pliées quand on se trouvera vis-à-vis le lieu du mouillage : alors on se laissera un peu dériver et à l'instant où on arrivera à ce lieu même, on laissera tomber l'ancre en filant du câble. On aura aussi les autres ancres toutes prêtes, et on en mouillera un plus ou moins grand nombre suivant le besoin.

Dans des tems violens, on amène les mâts de hune, les basses vergues, et quelquefois même on est forcé de couper les mâts inférieurs, extrémité à laquelle il ne faut recourir qu'après avoir épuisé toutes les autres ressources.

Il est important aussi de se procurer des termes de comparaison d'après lesquels on puisse juger si le vaisseau a changé de situation, et s'il est nécessaire d'employer de nouveaux moyens pour qu'il n'en change pas davantage.

## PROBLÈME LXXVI.

*Quels sont les objets qui doivent entrer dans le journal de manœuvre, et de quelle manière convient-il de faire ce journal?*

Solution. Si l'art de la manœuvre est tant imparfait, et si la théorie dont il dépend est encore enveloppée de nuages, c'est que les observations des praticiens ont rarement été faites avec cette précision et cette continuité qui pouvoient fournir aux savans la solution du plus délicat des problèmes.

C'est donc aux hommes de mer jaloux du perfectionnement de leur art, à procurer aux grands géomètres les matériaux sans lesquels le problème de la résistance des fluides resteroit vraisemblablement insoluble.

Quand même ce but ne seroit pas tout à fait rempli, au moins retireront-ils de leurs observations l'avantage de mieux connoître les qualités de leur vaisseau, d'en apprécier les causes, de les modifier, de prévenir les dangers, et d'éviter les malheurs qui accompagnent ordinairement l'imprévoyance et l'irréflexion.

Le premier soin du manœuvrier est de bien connoître la construction du vaisseau qu'il doit conduire. Il ne faut pas qu'il se borne à une connoissance vague; mais il lui importe d'avoir un plan exact du vaisseau, de connoître la quantité et la qualité des bois employés; la force des liaisons; les dimensions, le poids

et la position des mâts ; et enfin tous les objets qui doivent former le gréement. Il seroit utile qu'il se fît donner par le constructeur les résultats des calculs que celui-ci a faits pour prévoir les qualités de son navire, ou mieux encore qu'il fît lui-même ces calculs (*).

Avec ces connoissances il doit présider à l'arrimage, et ne rien placer sans en déterminer le poids et la position à l'égard du plan longitudinal, de la flottaison et du maître-couple.

Cette opération importante faite d'après les règles que prescrit la théorie, le manœuvrier déterminera le centre de gravité du vaisseau tout armé et prêt à faire route. Ce calcul est fort long, il est vrai ; mais il est de la plus haute importance, et on ne sauroit sans risque s'en affranchir.

Ensuite commence le journal d'observation dont nous allons parler, et à la tête duquel doivent être placés le plan du vaisseau, l'état des objets qui entrent dans sa construction, les renseignemens et les résultats des calculs donnés par le constructeur. Les

(*) Comme il est de la plus haute importance que le manœuvrier fasse ces calculs dont l'objet est de connoître d'avance les qualités de son vaisseau, et que ces mêmes calculs sont fondés non-seulement sur l'action de l'eau et du vent sur le vaisseau, mais encore sur la théorie de la construction, nous nous proposons de compléter ces Élémens de manœuvre par un autre ouvrage dans lequel nous ferons les calculs qui doivent indiquer les qualités du vaisseau relativement à la forme de sa carène, à sa mâture et à son gréement, ainsi que la manière de modifier ces qualités par un arrimage convenable. Les applications que nous ferons alors des principes démontrés ci-dessus, contribueront encore à mieux faire comprendre ces derniers, et à les graver plus profondément dans la mémoire.

opérations de l'arrimage et la position du centre de gravité total.

Parmi les objets qui doivent entrer dans le journal de manœuvre, et dont on trouvera le tableau ci-après, il en est quelques-uns pour lesquels il est fort difficile d'obtenir toute la justesse dont on auroit besoin : tels sont la vitesse des courans, celle du vaisseau et celle du vent.

Le lock, participant au mouvement de la mer, ne peut pas faire connoître exactement le chemin qu'a fait le vaisseau. On n'a souvent, pour rectifier le sillage, que la détermination de la longitude et de la latitude des lieux par les observations astronomiques, et encore ce moyen ne donne-t-il que des résultats approximatifs, et ne peut-il être employé aussi souvent qu'on en auroit besoin.

La vitesse des courans ne pouvant presque jamais être estimée immédiatement avec quelque justesse : on auroit besoin, pour la déterminer, de connoître la vitesse du vaisseau par l'observation des astres. Ainsi cette détermination doit participer à l'inexactitude de celle du sillage.

Quant à la vitesse du vent, on pourroit l'apprécier avec plus de justesse, si à l'instant de l'expérience dont nous avons parlé (prob. 42) le vaisseau étoit dans une immobilité absolue. Mais le mouvement est presque toujours un obstacle à cette condition ; et d'ailleurs, si on pouvoit obtenir cette vitesse exactement pour certains momens et pour des vents peu forts, il seroit bien impossible d'arriver à des résultats exacts, lorsque les vents deviendroient violens et les agitations de la mer très-considérables.

On peut même dire que c'est la difficulté de déterminer ces élémens, qui rend si incertaines et si peu fructueuses pour le perfectionnement de la théorie, les expériences faites en mer. Cependant ce ne doit pas être une raison suffisante de ne pas en faire. Peut-être qu'un grand nombre d'observations faites par des hommes instruits et d'un esprit pénétrant fourniront un jour quelque idée heureuse propre à faire résoudre la grande question.

Seulement la difficulté du problème doit rendre très-circonspect, doit faire réitérer les expériences, et faire bien observer toutes les circonstances qui peuvent altérer les résultats déjà trouvés ; il faut entr'autres choses tâcher de déterminer exactement les angles faits avec la quille par les vergues et par la girouette. Pour la première détermination, on pourroit marquer sur le bord des vaisseaux le nombre de degrés que feroit une vergue, lorsque ses bras seroient fixés à cet endroit. Quant à la seconde, un cercle gradué placé immédiatement au-dessous de la girouette, de manière que celle-ci lui servît d'axe, pourroit donner aisément la mesure de l'angle de la direction apparente du vent.

La bande du navire sera facile à connoître par le moyen d'un fil-à-plomb dont on fixera une extrémité à un mât ou à toute autre partie du vaisseau, qui étoit verticale avant l'inclinaison. Pour la durée des mouvemens de rotation, il suffira d'une pendule ou d'une montre à secondes.

Voici maintenant le tableau renfermant les divers objets qui doivent entrer dans le journal, disposés suivant l'ordre qui nous a paru convenable.

| Bande du vaisseau sous le vent | Vitesse des courans. | Angle du gouvernail avec la quille. | Grandeur de la rotation produite par le gouvernail. | Durée de cette rotation. | OBSERVATIONS particulières. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

# MANUEL DU MANOEUVRIER,

OU

# MAXIMES ET RÈGLES PRATIQUES

## DE MANOEUVRE,

QUI RÉSULTENT DE LA THÉORIE PRÉCÉDENTE.

---

## AVIS.

Les personnes auxquelles le langage algébrique sera inconnu laisseront les formules que nous avons cru devoir placer à la tête de ce Manuel, et passeront tout de suite aux maximes et aux règles pratiques de manœuvre qui sont immédiatement après ces formules. (*pages* 182 et suiv.)

# FORMULES

*Démontrées par la théorie précédente et sur lesquelles sont appuyées les maximes et les règles pratiques de la manœuvre des vaisseaux.*

---

## I.

$$X = \frac{\begin{array}{l}\frac{1}{2}\left(\frac{1}{6}a + a' + 2a'' + 3a'''\ldots + \frac{(3n-4)}{6}a^{(n-1)}\right) \\ \quad + \left(\frac{1}{6}b + b' + 2b'' + 3b''\ldots + \frac{(3n-4)}{6}b^{(n-1)}\right) \\ \quad + \left(\frac{1}{6}c + c' + 2c'' + 3c'''\ldots + \frac{(3n-4)}{6}c^{(n-1)}\right) \\ \quad + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{6}k + k' + 2k'' + + 3k'''\ldots\frac{(3n-4)}{6}k^{(n-1)}\right).\end{array}}{\begin{array}{l}\frac{1}{4}\left(a + a^{(n-1)} + k + k^{(n-1)}\right) + \frac{1}{2}\left(b + c + d\ldots + g + a' + a'' + a''' \right. \\ \quad \left. \ldots + a^{(n-1)} + b^{(n-1)} + c^{(n-1)}\ldots + g^{(n-1)} + k' + k''\ldots + k^{(n-1)}\right) \\ \quad + b' + b'' + b'''\ldots + b^{(n-1)} + c' + c'' + c'''\ldots + c^{(n-1)} + g' + g'' + g''' + g^{(n-1)}.\end{array}}$$

(*Voyez* pag. 10, prob. III, fig. 3 et 4.)

---

| | |
|---|---|
| $X$ | Distance du centre de déplacement du vaisseau à un plan vertical parallèle au maître-couple, et passant par l'extrémité supérieure de l'étambot. |
| $n$ | Le nombre de sections verticales de la carène par des plans parallèles au maître-couple. |
| $a, a', a'' \ldots a^{(n-1)}$ | Ordonnées horizontales de la flottaison, à partir du plan vertical auquel on rapporte le centre de déplacement ; ces ordonnées étant très-voisines les unes des autres, et en même nombre que les sections verticales, l'ordonnée $a^{(n-1)}$ étant la $n^e$. |

| | |
|---|---|
| $b, b', b'' \ldots b^{(n-1)}$.. | Ordonnées horizontales de la seconde section, correspondantes une à une à celles de la première. |
| $e, e', e'' \ldots e^{(n-1)}$.. | Ordonnées horizontales de la troisième section, correspondantes respectivement aux précédentes. |
| $g, g', g'' \ldots g^{(n-1)}$.. | Ordonnées horizontales de l'avant-dernière section. |
| $k, k', k'' \ldots k^{(n-1)}$.. | Ordonnées horizontales de la dernière section, correspondantes à celle des autres sections, observant que toutes les sections intermédiaires en ont d'analogues. |

*N. B.* Pour déterminer la distance du centre de déplacement au plan de flottaison, on rendra les sections horizontales, verticales par la pensée, et on opérera sur les nouvelles sections horizontales comme on a opéré sur les premières.

## II.

$$V \times GM = \sin. O \left\{ \int (x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2) - V \times GO \right\}. \text{ (fig. 22)}$$

(*Voyez* pag. 63, prob. XXII.)

| | |
|---|---|
| V. . . . . | Volume d'eau déplacée par la carène du vaisseau qui flotte sans mouvement progressif. |
| GM . . . . | Distance du centre de gravité du vaisseau à la droite verticale, qui passe par le centre de déplacement, lorsque ce centre a changé de situation par un effet de l'inclinaison du vaisseau ; ou longueur du levier au bout duquel agit la force résultante des poussées verticales de l'eau contre la carène. |

| | |
|---|---|
| C. . . . . | Angle de l'inclinaison que prend le vaisseau par l'effet d'une impulsion momentanée quelconque qui a lieu sur la proue ou sur la poupe. |
| $x$, $y$ . . . | Portions élémentaires de la flottaison comprise entre deux ordonnées très-voisines l'une de l'autre, et parallèles à la plus grande largeur de la flottaison ; la première appartenant à la partie de la flottaison qui correspond à la proue, et la seconde à la partie de la flottaison correspondante à la poupe. |
| Cf, Ck . . . | Distances de la projection de l'axe de rotation sur la flottaison, à chacune des portions élémentaires $x$ et $y$ de cette flottaison ; la première appartenant à $x$ et la seconde à $y$. |
| $\int$ . . . . . | Lettre caractéristique ou indicative qui marque qu'après avoir fait les produits de chaque élément de la flottaison par le carré de la distance de cet élément à la projection horizontale de l'axe de rotation, on doit faire la somme de tous les produits qu'on a trouvés. |
| GO . . . . | Distance du centre de gravité du vaisseau au centre de déplacement avant l'inclinaison. |

*N. B.* Pour avoir la force de stabilité du vaisseau, il suffira de considérer la valeur de V $\times$ GM comme un volume d'eau, et de déterminer le poids de ce volume.

## III.

$$LO = \frac{1}{V} \times \int \left( x \times \overline{Cf}^2 + y \times \overline{Ck}^2 \right) \ldots\ldots \quad \text{(fig. 22.)}$$

(*Voyez* pag. 63, prob. XXII.)

LO . . . . Distance du centre de déplacement avant l'inclinaison, au métacentre dans les mouvemens de tangage, le vaisseau étant sans mouvement progressif.

*N. B.* Les autres quantités sont les mêmes que dans la formule précédente.

## IV.

$$V \times GM = \sin. G. \left\{ \tfrac{2}{3} \int \left( e \times \overline{AC}^3 \right) - V \times GO \right\} \ldots \quad \text{(fig. 25.)}$$

(*Voyez* pag. 70, prob. XXIV.)

$e$ . . . . . . Epaisseur des tranches en lesquelles on a partagé la carène par des plans verticaux perpendiculaires à la quille.

AC . . . . Demi-largeur à la flottaison, de chaque tranche verticale dont $e$ exprime l'épaisseur.

*N. B.* Les autres quantités ont la même signification que dans les deux formules précédentes. On observera encore ici qu'après avoir trouvé la valeur de $V \times M, G$, il faut chercher le poids de ce volume d'eau, pour avoir la force de stabilité du vaisseau dans le roulis.

## V.

$$LO = \frac{f.\,(e \times \overline{AC}^3)}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (fig. 25.)$$

( *Voyez* pag. 72, prob. XXIV. )

| | |
|---|---|
| LO . . . . | Distance du centre de déplacement avant l'inclinaison, au métacentre dans le roulis, le vaisseau n'ayant point de mouvement progressif. |

*N. B.* Les autres quantités comme dans la formule IV.

## VI.

$$R' = m f. \frac{\overline{ef} \times x}{r} (1 + \sin.^2 i + \sin.^2 i') \quad \ldots\ldots \quad (fig. 26.)$$

( *Voyez* pag. 77, prob. XXVI. )

| | |
|---|---|
| R' . . . . | Résistance horizontale de l'eau perpendiculaire au maître-couple, contre une tranche horizontale de la carène. |
| *m*. . . . . | Pesanteur spécifique de l'eau. |
| *x*. . . . . | Hauteur due à la vitesse du vaisseau. |
| $\overline{ef}$. . . . | Projection sur le maître-couple de l'un des trapèzes élémentaires en lesquels chaque tranche horizontale de la carène doit être décomposée. |
| *i* . . . . . | Angle que fait avec la direction de la route le trapèze élémentaire de la proue dont la projection verticale est $\overline{ef}$. |

$i'$. . . . . Anglé formé par la direction de la route et le trapeze élémentaire de la poupe dont la projection verticale est $\overline{ef}$.

$r$. . . . . Doit exprimer la facilité de retraite des molécules d'eau après leur choc, ou le nombre de directions suivant lesquelles ces molécules peuvent s'échapper. Romme a fait $r = 180° - i$. Je laisse à l'expérienee à vérifier jusqu'à quel point cette expression est exacte.

$f$. . . . . Est la même lettre caractéristique que nous avons employée précédemment. Elle indique qu'après avoir fait sur chaque surface élémentaire d'une tranche de carène les opérations indiquées dans la formule, il faudra réunir tous les résultats obtenus, en un seul qui sera leur somme.

*N. B.* La même formule peut servir aussi à déterminer la résistance de l'eau contre une tranche de carène dans les routes obliques. Il suffira alors de distinguer soigneusement, d'après la forme de la tranche, quelle est la partie de cette tranche qui va au devant du choc, et quelle est celle qui cherche à l'éviter. La première sera alors considérée comme la proue ou l'avant, et la seconde comme la poupe ou l'arrière.

---

## VII.

$$P' = m\int \frac{\overline{ki}}{r}\,(h + x \sin.^2 i) \quad \ldots \ldots \quad \text{(fig. 24.)}$$

( *Voyez* pag. 78, prob. XXVI. )

---

$P'$. . . . . Action horizontale et latérale de l'eau contre la partie de l'avant d'une tranche horizontale de carène, située à babord ou à tribord.

| | |
|---|---|
| $\overline{ki}$. . . . . | Projection verticale sur le plan longitudinal et diamétral du vaisseau, du trapèze élémentaire de la tranche sur lequel on cherche l'action de l'eau. |
| h. . . . . . | Distance du centre de surface du trapèze élémentaire sur lequel on opère, à la flottaison. |
| $m, f, x, i$ et $r$.. | Ont la même signification que dans la formule VI. |

## VIII.

$$p' = m f \cdot \frac{\overline{no}}{r} (h - x - x \sin.^2 i') \quad \text{(fig. 24.)}$$

(*Voyez* pag. 78, prob. XXVI.)

| | |
|---|---|
| $p'$. . . . . . | Action horizontale et latérale de l'eau contre la partie arrière d'une tranche horizontale de carène, située à babord ou à tribord. |
| $\overline{no}$ . . . . . . | Projection verticale sur le plan longitudinal du vaisseau, du trapèze élémentaire de la tranche, sur lequel on cherche l'action de l'eau. |
| h . . . . . . | Même signification que dans la formule précédente. |
| $m, f, x, i'$ et $r$.. | Représentent les mêmes quantités que dans la formule VI. |

*N. B.* Dans les routes obliques, on opéreroit pour cette formule et pour la précédente, comme on l'a indiqué dans la note de la formule VI.

## IX et X.

$$\left.\begin{array}{l} Q' = m \int . \frac{\overline{ab}}{r} \left(h + x \sin.^2 i\right) \\ q' = m \int . \frac{\overline{cd}}{r} \left(h - x - x \sin.^2 i'\right) \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots \text{(fig. 24.)}$$

(*Voyez* pag. 79, prob. XXVI.)

| | |
|---|---|
| $Q'$. . . . . | Poussée verticale de l'eau contre une demi-tranche horizontale de la proue. |
| $q'$. . . . . | Poussée verticale de l'eau contre une demi-tranche horizontale de la poupe. |
| $\overline{ab}$. . . . . | Projection sur le plan de la flottaison, du trapèze élémentaire de la proue sur lequel on détermine la poussée de l'eau. |
| $\overline{cd}$. . . . . | Projection sur le plan de flottaison, du trapèze élémentaire de la poupe contre lequel on cherche la poussée verticale de l'eau. |
| $m, h, x, i, i', r$ et $\int$.. | Comme dans les formules précédentes. |

## XI, XII et XIII.

$$L = 2\,n\,B' \left(X - x\right) \sin.^2 I$$
$$M = 2\,n\,B'' \left(X - x\right) \sin.^2 I$$
$$N = 2\,n\,B''' \left(X - x\right) \sin.^2 I.$$

(*Voyez* pag. 88, prob. XXX.)

| | |
|---|---|
| L. . . . . | Impulsion du vent contre une voile unique équivalente à la voilure totale, cette impulsion étant parallele à la route. |
| M. . . . . | Impulsion du vent sur les voiles perpendiculairement à la route. |

| | |
|---|---|
| N. . . . . | Impulsion verticale du vent sur les voiles ayant lieu de haut en bas. |
| B′, B″. . . . | Projections verticales de la voile unique, la premiere étant perpendiculaire, et la seconde parallele à la direction de la route. |
| B‴ . . . . | Projection horizontale de la voile unique. |
| X. . . . . | Hauteur due à la vitesse absolue du vent. |
| x. . . . . | Hauteur due à la vitesse du vaisseau. |
| n. . . . . | Pesanteur spécifique de l'air. |
| I . . . . . | Angle d'incidence du vent sur les voiles. |

## XIV.

$$F = 2n\,B'(X - x)\sin.^2 I - m\int.\left[\frac{\int.Kx}{r}(1 + \sin.^2 i + \sin.^2 i')\right].$$

(*Voyez* pag. 88, prob. XXX.)

| | |
|---|---|
| F. . . . . | Force motrice du vaisseau, suivant la route. |
| K. . . . . | Projection sur un plan vertical perpendiculaire à la route, du trapèze élémentaire de la tranche horizontale de carène, sur lequel on opère. |

*N. B.* Les autres quantités ont la même signification que dans les formules précédentes.

## XV.

$$F' = 2n(X - x)\sin.^2 I\,(Gn \times A' + Gb \times B' + Ga \times C' + Gc \times D') + R \times Gr \mp Q \times Gq. \quad \text{(fig. 26.)}$$

(*Voyez* pag. 90, prob. XXXII.)

| | |
|---|---|
| F′. . . . . | Force qui tend à incliner le vaisseau vers la proue dans les routes directes, et quand on a vent arriere. |

| | |
|---|---|
| $n$, X, $x$ et I... | Même signification que dans la formule XI. |
| A′, B′ C′ et D′ ... | Projections verticales perpendiculaires à la quille, des voiles du beaupré, de celles de misaine, de celles du grand mât, et de celles d'artimon. |
| G$n$, G$b$, G$a$, et G$c$ .... | Distances des centres des voiles de beaupré, de celles de misaine, de celles du grand mât et de celles d'artimon, au plan horizontal qui passe par le centre de gravité du vaisseau. |
| R. . . . . | Résistance horizontale de l'eau, suivant le plan longitudinal. |
| G$r$ . . . . | Distance de la direction de la résistance horizontale de l'eau au plan horizontal qui passe par le centre de gravité. |
| Q. . . . . | Force résultante des poussées verticales de l'eau contre la carène. |
| G$q$ . . . . | Distance de la direction de la résultante des poussées verticales, au plan vertical qui passe par le centre de gravité du vaisseau. |

*N. B.* Les momens positifs tendent à faire plonger la proue, et les négatifs à la relever. Quant au double signe $\mp$, on prendra le signe — lorsque le centre des poussées verticales sera à l'avant, et le signe + lorsqu'il sera à l'arrière.

## XVI.

$$F'' = 2n(X - x)\sin.^2 I\,(A''' \times M'm' + B''' \times K'k' + C''' \times I'i' + D''' \times L'l') + U \times r'r'' - Q \times Oq \quad \text{(fig. 27.)}$$

(*Voyez* pag. 92, prob. XXXIII.)

| | |
|---|---|
| F″. . . . . | Force qui tend à faire incliner le vaisseau sous le vent, et autour de l'axe longitudinal qui passe par le centre de gravité. |

| | |
|---|---|
| $A''', B''', C''', D'''$ . . . . | Projections horizontales des voiles du beaupré, de celles de misaine, de celles du grand mât, et de celles d'artimon. |
| $M'm', K'k', Ii', L'l'$ . . . | Distances du centre des voiles du beaupré, de celles de misaine, du grand mât et d'artimon, au plan vertical et longitudinal qui passe par le centre de gravité du vaisseau. |
| U. . . . . | Force horizontale de l'eau agissant perpendiculairement au plan longitudinal. |
| $r'r''$ . . . . | Distance de la direction de la force précédente au plan horizontal qui passe par le centre de gravité. |
| Oq. . . . . | Distance de la direction de la résultante des poussées verticales de l'eau au plan longitudinal et diamétral du vaisseau. |
| $n$, X, $x$ I et Q . . . | Comme dans la formule XV. |

*N. B.* Les momens positifs tendent à faire plonger le vaisseau sous le vent, et les négatifs à le relever.

## XVII.

$$F''' = 2n(X-x)\sin.^2 I(A''\times Gm' + B''\times Gk' - C''\times Gi' - D''\times Gl') \pm U\times Gr''. \quad \text{(fig. 27.)}$$

(*Voyez* pag. 94, prob. XXXIV.)

| | |
|---|---|
| $F'''$ . . . . | Force qui tend à faire venir au vent ou à faire arriver suivant que les momens positifs sont plus petits, ou plus grands que les négatifs. |
| $A''$. . . . . | Projection verticale sur le plan longitudinal, de la voilure du beaupré et des focs. |

| | |
|---|---|
| B″. . . . . | Projection sur le plan longitudinal, des voiles de misaine et des étais. |
| C″ . . . . | Projection sur le même plan, des voiles du grand mât. |
| D″ . . . . | Projection sur le même plan, des voiles et des étais d'artimon. |
| Gm′, Gk′ Gk′, Gl′ . . . | Distances des centres des voilures dont A″, B″, C″, et D″ sont les projections, à l'axe vertical passant par le centre de gravité. |
| Gr″ . . . . | Distance du point où la résistance horizontale de l'eau rencontre le plan longitudinal, à l'axe vertical passant par le centre de gravité. |

*N. B.* Quant au double signe $\pm$, on prend $+$ lorsque la direction de la résistance de l'eau passe à l'arrière du centre de gravité, et le signe — lorsque cette direction reste à l'avant.

## XVIII, XIX et XX.

$$\left.\begin{array}{l} M = m\ Gx\ (1 + 2\ \sin.^2 k) \\ M' = m\ Gx\ (1 + 2\ \sin.^2 45^\circ) \\ M'' = m\ Gax\ \cos.\ k\ (1 + 2\ \sin.^2 k) \end{array}\right\} \ldots\ldots \text{(fig. 28.)}$$

(*Voyez* pag. 101 et 107, prob. XXXVIII et XLI.)

| | |
|---|---|
| M . . . . | Action du gouvernail mesurée par l'impulsion que celui-ci éprouve de la part de l'eau. |
| M′. . . . . | Action du gouvernail portée à son *maximum* par un effet de l'angle que fait sa surface avec le plan longitudinal du vaisseau. |

| | |
|---|---|
| $M''$ | Moment de force que produit le gouvernail pour faire tourner le vaisseau autour de l'axe vertical passant par le centre de gravité. |
| $m$ | Pesanteur spécifique de l'eau. |
| $G$ | Surface du gouvernail exposée au choc de l'eau. |
| $a$ | Distance du centre de gravité au plan vertical perpendiculaire à la quille et passant par le centre d'efforts de l'eau sur le gouvernail. |
| $x$ | Hauteur due à la vitesse de l'eau. |
| $k$ | Angle que fait le gouvernail avec le prolongement du plan longitudinal du vaisseau. |

## XXI.

$$\sin.(A - B) = \frac{v}{V} \sin. A \quad \text{(fig. 30.)}$$

(*Voyez* pag. 111, prob. XLIII.)

| | |
|---|---|
| $A$ | Angle que fait la girouette avec le plan vertical et longitudinal du vaisseau du côté de l'avant. |
| $B$ | Angle que fait la direction vraie du vent avec le même plan longitudinal, lorsque ce plan est dans la position verticale. |
| $v$ | Vitesse du vaisseau. |
| $V$ | Vitesse du vent. |

## XXII.

$$\sin.\ lCi = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\overline{Ci}^2}{\overline{Ck}^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(CI - DH)^2}{(CK - DF)^2}}} \quad \text{(fig. 31.)}$$

( *Voyez* pag. 113, prob. XLIV. )

| | |
|---|---|
| $lCi$ . . . . | Angle de la dérive. |
| $Ci$ . . . . | Force qui pousse le vaisseau horizontalement suivant le plan longitudinal et vertical. |
| $Ck$ . . . . | Force qui pousse le vaisseau latéralement sous le vent et par son travers. |
| CI . . . . | Force avec laquelle le vent pousse le vaisseau suivant la quille supposée horizontale. |
| DH . . . . | Force avec laquelle l'eau pousse le vaisseau de l'avant à l'arrière dans une direction opposée à la précédente. |
| CK . . . . | Force latérale du vent contre le vaisseau. |
| DF . . . . | Force latérale de l'eau contre la carène. |

## XXIII.

$\text{tang.}\ (g+r) = -\ \frac{1}{2}\ \text{tang.}\ i.$ . . . . . . . . . (fig. 32.)

( *Voyez* pag. 116, prob. XLV. )

| | |
|---|---|
| $g$. . . . . | Angle de la quille avec les vergues. |
| $r$. . . . . | Angle de la direction de la route avec la quille; ou angle de la dérive. |

$i$ . . . . . { Angle d'incidence de la direction vraie du vent sur les voiles.

*N. B.* Cette équation donne le rapport qui doit exister entre l'angle des vergues avec la route et celui d'incidence du vent sur les voiles. On se rappellera ici que le signe — ne fait qu'indiquer une tangente posée en sens contraire relativement au diamètre du cercle qui passe par l'origine de l'arc, ou bien que l'angle $i$ est un angle obtus.

XXIV.

$$\left.\begin{array}{l} \text{tang.}\, a = \dfrac{3\, \text{tang.}\, b.}{1 - 2\, \text{tang.}^2\, b} \\ \text{tang.}\, b = \dfrac{-3 \pm \sqrt{9 + 8\, \text{tang.}^2\, a}}{4\, \text{tang.}\, a} \end{array}\right\} \ldots \text{(fig. 51.)}$$

( *Voyez* pag. 138, prob. LVI. )

$a$ . . . . . { Angle de la direction du vent avec celle de la route.

$b$ . . . . . { Angle des voiles avec la direction de la route.

XXV.

$$\varphi = \frac{H \times Gr - R \times Er - H' \times Gh}{f.\, m\, x^2} \ldots \ldots \text{(fig. 35.)}$$

$$M = H + H' - V.$$

( *Voyez* pag. 121, prob. XLVIII. )

$\varphi$ . . . . . { Vitesse angulaire du vaisseau autour d'un axe horizontal perpendiculaire à la quille et passant par le centre de gravité, lorsque le vaisseau est frappé à l'avant par une lame.

| | |
|---|---|
| H. . . . . | Force verticale agissant de bas en haut sur la proue et provenant de l'action du vent sur les voiles, de celle de l'eau sur la proue, et du choc de la lame contre l'avant du vaisseau. |
| H' . . . . | Force verticale agissant de bas en haut et provenant des poussées verticales de l'eau contre la poupe. |
| R. . . . . | Force horizontale agissant de l'arrière à l'avant, résultante des forces horizontales produites par l'action du vent, par celle de l'eau, et par l'impulsion de la lame. |
| *Gr* . . . . | Distance de la direction de la force H au plan vertical perpendiculaire à la quille, et passant par le centre de gravité. |
| *Gh* . . . . | Distance de la direction de la force H' au même plan. |
| *Er* . . . . | Distance de la direction de la force R au plan horizontal qui passe par le centre de gravité. |
| *x*. . . . . | Distance d'un poids élémentaire quelconque du vaisseau à l'axe de rotation. |
| *m*. . . . . | Petite masse ou poids élémentaire du vaisseau dont la distance à l'axe de rotation est *x*. |
| $\int$. . . . . | Lettre caractéristique destinée à désigner qu'il faut faire la somme des quantités élémentaires qui viennent après, et qu'on obtient en donnant des valeurs successives à la variable que ces quantités renferment. |
| M. . . . . | Mouvement ascensionnel du centre de gravité du vaisseau dans les mouvemens de tangage. |
| V. . . . . | Poids total du vaisseau ou du volume d'eau que le vaisseau déplace. |

# MAXIMES PRATIQUES

## QUI DÉRIVENT DE LA THÉORIE PRÉCÉDENTE

OU

## DES FORMULES CI-DESSUS.

*Circonstances favorables à la stabilité dans les mouvemens de tangage et dans ceux de roulis, le vaisseau étant sans mouvement progressif.*

I.

La stabilité augmente quand le déplacement diminue, le vaisseau conservant la même longueur, les mêmes largeurs à la flottaison, et la distance du centre de gravité au centre de déplacement restant la même.

II.

Elle augmente aussi, lorsqu'on rapproche le centre de gravité de celui de déplacement, en abaissant les poids du vaisseau, ou bien en élevant le centre de déplacement; ce qui se fait en augmentant l'acculement des varangues et tenant le vaisseau plein vers la flottaison, ou bien encore par la réunion de ces deux moyens.

III.

L'augmentation de longueur en produit une très-grande pour la stabilité dans le tangage, et une beaucoup moins grande dans le roulis.

IV.

L'augmentation des largeurs de la flottaison donne lieu à une plus grande augmentation de stabilité dans le roulis que dans le tangage.

V.

Si l'augmentation du volume de la carène, la surface de la flottaison restant la même, diminue la stabilité, elle contribue aussi à l'augmenter, quand cette augmentation de volume se fait vers la partie de la carène qui peut sortir de l'eau et s'y plonger par un effet des inclinaisons.

VI.

La stabilité augmente donc beaucoup par l'augmentation de la partie de la carène que les inclinaisons peuvent faire sortir de l'eau, et par la diminution de volume dans la partie qui est toujours submergée.

VII.

Pour la stabilité dans le tangage, il y a plus à gagner d'augmenter les largeurs des flottaisons vers les extrémités que vers le milieu.

(*Voyez* p. 168 et 170, *les form. II, III, IV et V.*)

*Circonstances favorables à la marche du vaisseau.*

VIII.

Des lignes d'eau plus fines doivent diminuer l'action de l'eau contre la carène.

IX.

Un petit changement dans le degré de courbure des lignes d'eau ne doit en produire qu'un très-petit dans les résistances que l'eau oppose.

X.

La quantité qui influe le plus sur la diminution des résistances, est la diminution de la projection de chaque surface sur le plan perpendiculaire à la direction de ces résistances.

XI.

Le moyen le plus sûr et le plus efficace de diminuer la résistance de l'eau au mouvement progressif du vaisseau, est de diminuer la surface du maître-couple pour les routes directes, et celle du plan longitudinal pour les routes obliques.

XII.

Les tranches horizontales de la carène doivent éprouver une résistance horizontale moindre, à mesure qu'elles sont situées plus bas.

XIII.

La diminution dans le tirant-d'eau en produit une assez grande dans la résistance au mouvement progressif du vaisseau.

## XIV.

Le sillage augmente beaucoup lorsque les voiles exposées au vent présentant de grandes surfaces restent presque verticales; que l'angle d'incidence du vent sur les voiles approche de l'angle droit, et que les vergues sont peu inclinées par rapport à la route.

## XV.

Une circonstance favorable au sillage seroit celle où la tangente de l'angle des vergues avec la quille ou la route se trouveroit être la moitié de la tangente de l'angle d'incidence du vent sur les voiles.

(*Voyez* pag. 171, 175 *et* 180, *les form. VI, XIV et XXIII.*)

*Circonstances qui augmentent la qualité de porter la voile, ou qui diminuent la bande du navire.*

XVI.

Augmenter les poussées verticales de l'eau en augmentant le déplacement de la carène.

XVII.

Tenir les environs de la flottaison très-pleins, et les façons inférieures très-hautes, afin qu'une petite inclinaison donne un grand mouvement horizontal au centre des poussées verticales.

XVIII.

Faire la mâture peu élevée.

XIX.

Rapprocher de l'angle droit l'angle des vergues avec la quille, excepté dans le vent arrière, en conservant assez aigu l'angle du vent avec les voiles.

XX.

Diminuer de voilure et surtout dans les parties hautes.

XXI.

Augmenter la stabilité du vaisseau.

XXII.

Rapprocher du plan de flottaison la direction de la résistance de l'eau au mouvement du vaisseau, en augmentant la surface du maître-couple vers la flottaison, et tenant les lignes d'eau pleines vers le haut et fines vers le bas.

XXIII.

Diminuer la résistance de l'eau au mouvement progressif du vaisseau.

(*Voyez* pag. 176, *form. XVI.*)

*Circonstances propres à augmenter la force du vaisseau pour venir au vent.*

XXIV.

Rendre très-petit l'angle des vergues de l'arrière avec la quille, et brasser carrées ou presque carrées les vergues de l'avant, ou bien contrebrasser celles-ci, sans cependant rendre trop aigu l'angle d'incidence du vent sur les voiles.

XXV.

Augmenter la voilure à l'arrière, la diminuant à l'avant, surtout aux mâts les plus éloignés.

XXVI.

Tenir le centre de gravité du vaisseau le plus vers l'avant possible.

XXVII.

Augmenter la résistance horizontale de l'eau, en conservant sa direction à l'avant du centre de gravité; ou diminuer cette résistance, si on en fait passer la direction à l'arrière du même centre.

(*Voyez* pag. 177, *form. XVII.*)

*Circonstances qui concourent à augmenter la force du vaisseau pour arriver.*

XXVIII.

Faites très-petit l'angle des vergues de l'avant avec la quille, sans pourtant rendre trop aigu l'angle d'incidence du vent sur les voiles; suspendez l'effet des voiles de l'arrière, ou bien brassez-les au vent, en faisant presque droit l'angle d'incidence du vent sur les voiles, ou encore en rendant le plus petit possible l'angle des vergues avec la quille; ayant l'attention de conserver toujours vent dedans à l'arrière comme à l'avant.

XXIX.

Augmentez la voilure à l'avant, la diminuant à l'arrière si on n'a pas contrebassé.

XXX.

Portez le centre de gravité vers l'arrière le plus possible.

XXXI.

Que la forme de la carène soit telle que la direction de la résistance de l'eau passe aisément à l'arrière du centre de gravité, dans les routes obliques.

(*Voyez* pag. 177, *form. XVII.*)

*Circonstances qui augmentent l'effet du gouvernail.*

XXXII.

Donnez au gouvernail la forme d'un triangle ou d'un trapèze dont la plus grande base soit en bas; ou au moins augmentez la surface du gouvernail dans la partie inférieure.

XXXIII.

Faites de 45.° l'angle du gouvernail avec la quille.

XXXIV.

Portez le centre de gravité vers l'avant.

XXXV.

Que la forme de la carène soit telle que la direction de la résistance de l'eau passe par le centre de gravité ou fort près; ou au moins qu'elle coupe l'axe vertical qui passe par le centre de gravité.

XXXVI.

Suspendez l'effet des voiles qui contrarient l'action du gouvernail, et augmentez celui des voiles qui la favorisent.

(*Voyez* pag. 178, *form. XIX et XX.*)

*Circonstances qui diminuent la dérive du vaisseau.*

XXXVII.

Augmentez la résistance latérale de l'eau sur la carène, en augmentant la surface du plan longitudinal, ce qui se fait par un plus grand tirant d'eau, par une plus grande longueur donnée au vaisseau, une moindre quête à l'étambot et un plus petit élancement à l'étrave.

XXXVIII.

La dérive diminue lorsque la force du vent suivant la quille de l'arrière à l'avant devient plus grande.

XXXIX.

La dérive diminue lorsque la force latérale du vent contre le vaisseau diminue aussi.

XL.

La dérive diminuera, si la résistance de l'eau de l'avant à l'arrière devient moindre.

XLI.

La dérive sera donc plus petite quand on naviguera vent arrière ou grand largue, que lorsqu'on ira au plus près.

XLII.

Plus de longueur donnée à un vaisseau, et une moindre surface donnée au maître couple, contribueront beaucoup à diminuer la dérive.

( *Voyez* pag. 180, *form. XXII.* )

*Circonstances propres à diminuer les dangers du tangage.*

XLIII.

Mettez le moins de différence possible entre la forme de la proue et celle de la poupe.

XLIV.

Faites en sorte que le vaisseau obéisse avec promptitude à l'action de la lame.

XLV.

Augmentez la vitesse de rotation en rapprochant du milieu les poids placés aux deux extrémités.

XLVI.

Vous diminuerez la grandeur du choc, en diminuant la résistance des forces horizontales, en exposant peu de voiles au vent, en évitant d'aller au-devant de la lame, et en présentant à l'impulsion de celle-ci le moins de surface possible.

( *Voyez* pag. 181, *form. XXV.*)

*Circonstances propres à diminuer les dangers du roulis.*

XLVII.

On diminuera la vivacité du roulis en diminuant la vitesse angulaire du vaisseau. C'est pourquoi on portera les poids sur les ailes en les écartant du plan longitudinal.

XLVIII.

On diminuera la violence du choc en employant le gouvernail pour faire présenter moins de surface à l'impulsion de la lame, et en diminuant de voilure.

XLIX.

Le choc seroit aussi moins grand, si on donnoit une forme plus arrondie, plus rentrante et moins verticale à la partie de la carène qui est au-dessus de la flottaison.

( *Voyez* pag. 125, *prob.* 49.)

*N. B.* Pour ce qui est relatif à la position la plus favorable du centre de gravité du vaisseau. ( *Voyez* pag. 127, *prob.* 50.

# RÈGLES PRATIQUES

DE

# MANOEUVRE.

*Observations préliminaires et fondamentales sur l'effet des voiles.*

1.

L'action perpendiculaire et horizontale du vent sur une voile peut se décomposer en deux forces horizontales, l'une suivant la quille, et l'autre perpendiculaire à la quille ; la première tendant à imprimer au vaisseau suivant la quille, un mouvement progressif, et la seconde tendant à donner un mouvement de rotation autour de l'axe vertical qui passe par le centre de gravité.

2.

La direction de la force perpendiculaire du vent sur une voile, se trouve toujours située du côté de la face de la voile qui n'est point frappée immédiatement par le vent, et dans l'angle obtus que fait la vergue ou la voile avec la quille.

3.

Toute voile qui a vent dedans, tend à imprimer au vaisseau un mouvement vers l'avant.

4.

Toute voile qui a vent dessus tend à faire culer le vaisseau.

5.

Toute voile qui est contrebrassée et qui conserve, comme auparavant, vent dedans ou vent dessus, tend à produire un mouvement de rotation en sens contraire.

6.

Une voile qui, ayant d'abord vent dedans ou vent dessus, seroit contrebrassée et recevroit vent dessus ou vent dedans, tendroit à produire le même mouvement de rotation qu'auparavant.

7.

Les voiles carrées de l'avant tendent à faire arriver, si, ayant vent dedans, elles sont brassées sous le vent; ou si, ayant vent dessus, elles sont brassées au vent.

8.

Les voiles carrées de l'avant tendent à faire venir au vent, quand ayant vent dedans, elles sont brassées au vent; ou bien, quand ayant vent dessus, elles sont brassées sous le vent.

9.

Les voiles carrées de l'arrière tendent à faire venir au vent, lorsque ayant vent dedans, elles sont brassées sous le vent; ou qu'ayant vent dessus, elles sont brassées au vent.

10.

Les voiles carrées de l'arrière tendent à faire arriver, lorsque ayant vent dedans, elles sont brassées au vent; ou bien, lorsque ayant vent dessus, elles sont brassées sous le vent.

11.

Les voiles carrées de l'avant tendent à contrarier la rotation que les voiles carrées de l'arrière tendent à produire, lorsque les premières sont brassées au même bord que les secondes et qu'elles ont toutes vent dedans ou vent dessus.

12.

Les voiles carrées tendent à produire le même mouvement de rotation, lorsque ayant toutes vent dessus ou vent dedans, celles de l'avant sont contrebrassées par rapport à celles de l'arrière; ou bien, lorsque étant toutes brassées au même bord, celles de l'avant ont vent dedans ou vent dessus, selon que les voiles de l'arrière reçoivent vent dessus ou vent dedans.

13.

Les voiles triangulaires; savoir, les focs et les étais tendent à faire aller le vaisseau vers l'avant lorsqu'elles sont bordées sous le vent, et à le faire culer quand elles sont bordées au vent.

14.

Les voiles triangulaires de l'avant; savoir, les focs et les voiles d'étai en avant du grand mât, font toujours arriver.

15.

Des voiles triangulaires de l'arrière,. c'est-à-dire, les voiles d'étai placées derrière le grand mât, font toujours venir au vent.

16.

Les voiles ont d'autant plus de force pour faire

venir au vent ou pour faire arriver, qu'elles sont plus vers les extrémités du navire, qu'elles sont plus obliques par rapport à la quille, et que l'angle d'incidence du vent sur les voiles est plus voisin de l'angle droit.

17.

Les voiles ont d'autant plus d'influence pour accélérer le sillage, qu'elles sont plus étendues, et que les angles qu'elles font, soit avec la route, soit avec le vent, sont plus voisins de l'angle droit.

18.

Les voiles produisent une inclinaison d'autant moins grande, qu'elles sont elles-mêmes moins étendues, moins élevées, et que l'angle qu'elles font avec la direction du vent est plus petit.

19.

Quand le vaisseau va de l'avant, le gouvernail fait arriver ou venir au vent, selon qu'on met la barre au vent ou sous le vent.

20.

Quand le vaisseau cule, le gouvernail fait arriver ou venir au vent, selon qu'on a mis la barre sous le vent ou au vent.

21.

En général, la proue tourne du côté opposé à la barre, si le vaisseau va de l'avant; et elle tourne du côté qu'on a mis la barre, si le vaisseau cule.

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| 1. Quelles sont les voiles qu'il faut appareiller, quand on veut naviguer vent arrière? | 1. Choisissez à l'avant et à l'arrière, des voiles qui ne s'abritent pas, d'une étendue à peu près égale; de manière qu'il en résulte l'équilibre dans les mouvemens de rotation, et que la proue ne plonge pas trop. Dans un gros tems diminuez la voilure et surtout sa hauteur. | 1. Par un beau tems, on peut orienter la grande voile, le petit hunier avec ses bonnettes, le petit perroquet, et même le grand perroquet volant.<br>Ou bien, le grand hunier avec ses bonnettes, la misaine, le petit perroquet et le grand perroquet volant.<br>Ou encore, le perroquet de fougue, la perruche, le grand perroquet volant, et la misaine avec ses bonnettes.<br>En général, on exposera au vent toutes les voiles possibles, pourvu qu'elles ne s'abritent pas; qu'il y ait équilibre entre la voilure de l'avant et celle de l'arrière; pourvu enfin que la proue ne plonge pas trop, et que les voiles ne se trouvent pas trop inclinées à l'horizon.<br>Par un tems forcé, on peut orienter l'artimon et le petit hunier; ou bien, le perroquet de fougue, et la misaine dont on a pris un ris; ou encore le grand hunier et la misaine.<br>(*Voyez* prob. 54.) |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| 2. | 2. | 2. |
| Quelles voiles faut-il exposer au vent, quand on navigue vent travers? | On peut alors exposer au vent toute la voilure du vaisseau, quoiqu'il doive y avoir des parties abritées. Dans le gros tems on supprimera la voilure supérieure, et on la diminuera en raison de la force du vent. | (*Voyez encore* prob. 54.) |
| 3. | 3. | 3. |
| Quelles voiles faut-il exposer au vent, quand on navigue au plus près? | S'il fait beau tems, on exposera toutes les voiles au vent. Sinon il faudra supprimer les voiles hautes, et dans un cas extrême, n'en conserver que deux, l'une à l'avant, et l'autre à l'arrière, | Par un beau tems, on orientera toutes les voiles carrées, y compris les perroquets volans, la civadière et la contre-civadière; tous les focs, toutes les voiles d'étai, celle d'artimon, et on ajoutera des bonnettes du côté du vent; enfin, on fera en sorte qu'entre les mâts, il se trouve le moins possible d'espace vide. Si le tems devient forcé, on supprimera les perroquets vo- |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
| --- | --- | --- |
| | ou même une seule. | lans, les bonnettes, le grand et le petit perroquet, et même s'il le faut, les voiles d'étai et les focs.<br>Dans le cas enfin où la force du vent pourroit mettre le vaisseau en danger, on cargueroit toutes les voiles, à l'exception d'une ou de deux, comme nous le dirons ci-après, à l'endroit où il s'agira de la cape.<br>(*Ibid.*) |
| 4.<br>Brasser et border une voile, de manière à avoir vent dedans, et à courir avec le plus de vitesse possible sur une route donnée.<br>(*fig.* 51.) | 4.<br>Tirez vers l'arrière le bras qui est sous le vent, de manière que la vergue fasse avec la quille l'angle désigné par la table qu'on trouvera à la fin de ce Manuel. Déferlez la voile, et amarrez fortement l'amure et l'écoute, de sorte que sa surface soit la plus plane possible. | 4.<br>Quand il ne vente pas grand frais, on commence par déferler la voile, la brasser sous le vent, de manière que l'angle de la vergue avec la quille soit tel que l'indique la table ci-après. *p.* 221; ou bien, on se contentera de disposer la vergue de sorte qu'elle fasse sensiblement un angle droit avec la direction vraie du vent, et qu'elle soit, autant que possible, perpendiculaire à la route.<br>Ensuite on amarrera fortement l'amure au vent et l'écoute sous le vent.<br>S'il vente grand frais, et qu'il s'agisse d'orienter un hu- |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | nier, brassez d'abord sous le vent, bordez son écoute à joindre ; passez ensuite au vent, pour le border aussi à joindre. S'il faut orienter une basse voile, commencez par la mettre en ralingue, amurez-la ensuite, et bordez-la aussitôt ; faisant faire à la vergue le même angle que ci-dessus. (*Voyez* prob. 56.) |
| 5. Brasser de manière à mettre vent dessus. (*fig.* 53.) | 5. Brassez au vent, et tirez le bras vers l'arrière, jusqu'à ce que la voile ait fasayé. | 5. (*Voyez* prob. 58.) |
| 6. Un vaisseau étant sous voile, on demande de le faire venir au vent. | 6. Suspendez l'effet des voiles de l'avant, ou bien contre-brassez-les, après avoir largué les focs et même les étais de l'avant, et ne touchez point | 6. Si on a brassé sous le vent (*fig.* 54), on larguera les écoutes des voiles de l'avant, ou bien on mettra les voiles carrées de l'avant en ralingue, se contentant de larguer les écoutes des focs et des étais, et on conservera le vent dedans à l'arrière, mettant la barre sous le vent. |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | aux voiles d'arrière. Mettez aussi la barre sous le vent ou au vent, selon que le navire va de l'avant ou qu'il cule.<br>Nous avons supposé qu'avant l'évolution, les voiles fussent brassées sous le vent, comme cela arrive ordinairement.<br>Si le contraire avoit lieu, on feroit pour l'avant ce qu'on a fait pour l'arrière. | Dans le cas où il faudroit venir au vent plus vivement encore, on contrebrasseroit les voiles carrées de l'avant, et on feroit passer l'équipage le plus vers la proue possible.<br>On augmenteroit encore la force de venir au vent, en employant les voiles d'étai de l'arrière; en diminuant l'angle des vergues avec la quille, et faisant en sorte que l'angle d'incidence du vent sur les voiles soit sensiblement droit.<br>Si, malgré tous ces moyens, on avoit encore de la peine à venir au vent, on pourroit faire usage de l'embossure comme nous le dirons ci-après.<br>Mais, si le vaisseau en continuant de venir au vent, finissoit par avoir vent dessus, alors l'effet des voiles carrées seroit tout contraire; de sorte que pour continuer le même mouvement, il faudroit contrebrasser toutes les voiles qui ont vent dessus, en leur conservant toujours vent dessus, ou bien les brasser plus obli- |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | quement de manière qu'elles eussent encore vent dedans. Si le vaisseau venoit à culer (*fig.* 56), on mettroit la barre au vent. Dans le cas où les voiles avant l'évolution auroient été brassées au vent (*fig.* 55), il faudroit faire pour les voiles carrées de l'arrière ce que nous avons fait pour celles de l'avant, et faire pour celles-ci ce que nous avons fait pour celles de l'arrière; seulement on conserveroit toujours les voiles d'étai de l'arrière, et on déborderoit celles de l'avant, ainsi que les focs. (*Voyez* prob. 59.) |
| 7. Un vaisseau étant sous voile on veut le faire arriver. | 7. Il faut, pour arriver, faire le contraire de ce qu'on a fait pour venir au vent. Ainsi on fera pour l'avant ce qu'on a fait pour l'arrière, et réciproquement. | 7. Si on a vent dedans (*fig.* 57) et qu'on ait brassé sous le vent, on supprimera les voiles de l'arrière, on mettra la barre au vent et on éventera les focs, s'ils ne le sont pas. Ce cas est le plus ordinaire. Dans le cas plus rare (*fig.* 58), où ayant vent dedans, on auroit brassé au vent, on suspendroit l'effet des voiles carrées de l'avant, celui des voiles |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | d'étai de l'arrière; on conserveroit les voiles latines de l'avant, ainsi que les voiles carrées de l'arrière, et on mettroit encore la barre au vent. Si le vaisseau (*fig.* 59) avoit de la peine à arriver, on brasseroit sous le vent les voiles de misaine. Dans le cas (*fig.* 60) où on auroit vent dessus, ayant brassé au vent, on suspendroit l'effet de toutes les voiles de l'arrière, conservant celui de toutes les voiles de l'avant, et on mettroit la barre au vent ou sous le vent, selon que le vaisseau iroit en avant ou qu'il culeroit. Mais si ayant vent dessus, on avoit brassé sous le vent, on feroit la même manœuvre que quand on a vent dedans et qu'on a brassé au vent. Seulement, on mettroit la barre sous le vent. On augmentera la force d'arrivée, en faisant passer l'équipage tout à fait à l'arrière ou à l'avant, selon qu'on n'emploiera que les voiles de l'a- |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | vant ou celles de l'arrière à faire la rotation. On pourroit encore abattre en faisant embossure. Enfin, dans le cas extrême où on seroit forcé de n'exposer que très-peu de voiles au vent, et où le vaisseau se trouveroit en danger, faute de ne pouroit arriver, il faudroit amener les mâts supérieurs de l'arrière; et si cela ne suffisoit pas, on couperoit l'artimon, et même le grand mât, si la chose devenoit indispensable. (*Voyez* prob. 60.) |
| 8. Appareiller, le bout étant évité au vent, le courant étant nul, ou bien venant du même côté que le vent. | 8. Dégagez l'ancre du fond, faites ensuite abattre le vaisseau du côté vers lequel on veut faire route, et disposez les voiles de manière à suivre cette route après l'abattée. | 8. Commencez par virer sur l'ancre, jusqu'à ce qu'elle soit à pic. A cet instant, si on veut abattre sur tribord (*fig.* 61.), mettez la barre à tribord; brassez au plus près, babord devant et tribord arrière. Quand le vaisseau aura assez abattu (*fig.* 62), contrebrassez à l'avant, et faites route après avoir mis l'ancre au capon et la barre droite. Ou bien mettez en panne, jusqu'à ce que l'ancre soit tout- |

| PROBLÊMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | à-fait retirée. Dans un cas pressé, on couperoit le câble et on feroit route. L'abattée faite, on brasse tribord avant, mettant le vent dedans. Si on vouloit abattre sur babord (*fig.* 63), il faudroit brasser tribord avant et babord arrière, mettant la barre à babord, et après l'abattée (*fig.* 64) on brasseroit babord avant. (*Voyez* prob. 61.) |
| 9. Appareiller, le bout étant évité entre le vent et le courant, et recevant vent dedans. | 9. Employez les voiles et le gouvernail pour abattre du côté convenu, et après l'abattée mettez partout vent dedans pour faire route. | 9. Pour abattre sur tribord, brassez tribord devant et babord arrière, mettez la barre à babord ou à tribord, suivant que le vaisseau va en avant, ou qu'il cule. On brasseroit en sens contraire, dans le cas où on voudroit abattre sur babord. Dans tous ces cas il faut, après l'abattée, mettre partout vent dedans, en brassant sous le vent les voiles qui ont vent dessus. |
| 10. Appareiller en faisant embossure. | 10. Au lieu des voiles on em- | 10. Pour abattre sur tribord, (*fig.* 66) fixez un cordage à |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DÉTAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | ploie ici pour faire abattée, un cordage fixé vers l'arrière et en dehors, par un bout, et attaché par l'autre au cabestan qu'on vire. | babord le plus à l'arrière possible. Ce même cordage, fixez-le aussi par son autre extrémité au cabestan et virez de force, dès l'instant que l'ancre sera à pic; mettez ensuite la barre à tribord ou à babord, suivant que le vaisseau cule ou qu'il va de l'avant. (*Voyez* prob. 63.) |
| 11. De quel bord est-il plus avantageux d'abattre, quand on veut appareiller? | 11. Du côté opposé à celui où se trouve l'ancre. | 11. Dans tous les appareillages il faut éviter, tant qu'on peut, d'abattre du côté que se trouve l'ancre, pour que celle-ci ne s'embarrasse pas dans le taillemer. Si on étoit forcé d'abattre du même côté, il vaudroit mieux filer, et après l'abattée, mettre l'ancre sous le vent avant de la retirer; ce qui se feroit en virant de bord. On pourroit aussi mettre en panne, après avoir abattu, et ne faire route que quand on auroit mis l'ancre au capon. |
| 12. Virer de bord, vent devant. | 12. Il s'agit d'abord de faire venir au vent | 12. 1.° On supprimera les voiles de l'avant (*fig.* 66 et 67) ou bien si on veut virer plus vivement, |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | jusqu'à ce que la proue soit dans le lit du vent. A cet instant on fait arriver.<br>Dans la première manœuvre, on observera la circonstance où on a vent dedans, et celle où on a vent dessus, employant dans chacun de ces cas la méthode convenable pour faire venir au vent.<br>Dans la seconde manœuvre par laquelle on arrive, on a d'abord vent dessus et ensuite vent dedans. On aura donc égard à la règle prescrite pour chacun de ces cas. | on les contrebrassera en conservant le vent dedans; ou autrement on leur mettra vent dessus, en se contentant de rendre plus aigu l'angle des voiles avec la quille. Quant à la barre, on la mettra sous le vent.<br>2.° Dès que le vaisseau culera (*fig.* 69), ou dès que les voiles auront fasayé, on changera la barre, on éventera les voiles de l'avant (*fig.* 70), supprimant celles de l'arrière, ou bien contrebrassant celles-ci et leur conservant vent dessus, si on veut virer plus vivement.<br>3.° L'instant où le vaisseau ayant passé le lit du vent, aura le vent à l'autre bord (*fig.* 71), on brassera sous le vent, de manière à mettre vent dedans; et si on a encore besoin d'arriver, on mettra la barre au vent.<br>4°. Lorsque l'arrivée sera suffisante, on mettra la barre droite (*fig.* 72), et on orientera les voiles de l'arrière dont on aura besoin pour faire route.<br>(*Voyez* prob. 64.) |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| 13. Virer de bord, vent arriere. | 13. Faites arriver. Dès que les voiles fasayent, supprimez celles qui contrarient l'abattée, et mettez vent dedans à celles qui favorisent la rotation. Venez au vent plus ou moins suivant la route à faire, et faites servir. | 13. 1.° Supprimez l'effet des voiles de l'arrière, et mettez la barre au vent (*fig.* 73, 74.) 2.° Si lorsque le vaisseau sera dans le lit du vent, on veut faire route, on changera la barre, on orientera les voiles de l'arrière, et on remettra la barre droite. 3.° Sinon (*fig.* 75, 76), on continuera l'abattée, et dès l'instant que les voiles de l'avant auront vent dessus (*fig.* 77 et 78), on les supprimera et on brassera sous le vent les voiles de l'arrière. 4.° On brassera aussi sous le vent les voiles de l'avant (*fig.* 79), et on mettra la barre droite, dès qu'on sera assez venu au vent. On observera ici que si on vouloit rendre plus vive l'abattée, il faudroit contrebrasser les voiles que nous avons dit de supprimer, en leur conservant vent dedans ou vent dessus, comme auparavant. (*Voyez* prob. 65.) |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| 14. Mettre en panne. (*Fig.* 80 et 81.) | 14. Déployez à l'avant une voilure égale à celle de l'arrière, en faisant en sorte que celle de l'avant se trouve autant éloignée du centre de gravité que celle de l'arrière ; mettez ensuite vent dessus à l'avant et vent dedans à l'arrière, ou réciproquement. | 14. Quand on voudra mettre en panne, on choisira de préférence les deux huniers, mettant vent dedans sur l'un et vent dessus sur l'autre; et pour cela on brassera au vent celui des deux qu'on veut coiffer. On pourroit aussi choisir la misaine et la grande voile, en prenant un ris ou deux de celle-ci, ou bien en la faisant moins porter. On pourroit encore faire usage de l'artimon et de la misaine, ou du perroquet de fougue et du petit hunier, après avoir pris un ou deux ris à ce dernier. On emploiera le gouvernail pour achever de détruire le reste de mouvement de rotation qui pourroit encore y avoir. (*Voyez prob.* 66.) |
| 15. Faire servir, quand on est en panne. (*Fig.* 80, 81, 82.) | 15. On contrebrassera les voiles qui avoient vent dessus, et | 15. Mettez vent dedans aux voiles qui ont vent dessus, en brassant sous le vent; orientez plus ou moins de voiles se- |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL. des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | on exposera au vent de nouvelles voiles suivant la route qu'on veut faire. | lon le tems; mettez la barre droite, s'il n'y a point d'abattée à faire, ou bien mettez-la au vent ou sous le vent, selon qu'on veut arriver ou venir au vent. (*Voyez* prob. 67.) |
| 16 Mettre à la cape. | 16. Il ne faut garder, qu'une ou deux voiles, afin de pouvoir gouverner, et choisir ces voiles parmi celles qui sont peu hautes. Si on naviguoit à sec, on observeroit que les mâts de l'arrière font venir au vent, et ceux de l'avant font arriver. | 16. Quand il vente grand frais, et qu'on craint de trop grandes inclinaisons, on commence par carguer les voiles hautes, et on ne garde que les voiles basses. Si le vent augmente, on diminue encore les voiles basses en en supprimant quelqu'une à l'avant ou à l'arrière. Mais si le vent devient plus violent, on ne conserve qu'une basse voile, à l'avant ou à l'arrière, suivant qu'on présume devoir être dans le cas d'arriver ou de venir au vent. Enfin, dans le cas extrême où on ne pourroit exposer aucune voile au vent, on navigueroit à sec, vent arrière, pour éviter la violence des lames, à laquelle on seroit exposé en allant au devant |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | d'elles. Mais alors si on avoit besoin de venir au vent ou d'arriver pour éviter un écueil et que le gouvernail ne fût pas suffisant, on seroit forcé de couper le mât de misaine ou le mât d'artimon, et quelquefois même le grand mât. |
| 17. Reconnoître si on est au vent ou sous le vent d'un objet. (*Fig.* 83.) | 17. Trouvez la direction vraie du vent, et cherchez sur quel rhumb est la perpendiculaire au lit du vent. Cette perpendiculaire sera la séparation des objets situés au vent, de ceux placés sous le vent. | 17. 1.° Déterminez la direction vraie du vent d'après la méthode ci-dessus. (Prob. 43.) 2.° Observez à quel air de vent correspond la perpendiculaire au lit du vent. 3.° Faites le relèvement de l'objet avec le compas de variation. 4.° Si l'air de vent de l'objet relevé fait un angle aigu avec le lit du vent, cet objet sera au vent; et il sera sous le vent, si le même angle devient obtus. On pourroit aussi comparer l'objet avec la perpendiculaire au lit du vent; et en supposant que la route du vaisseau fût suivant cette perpendiculaire, on verroit si |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | l'objet resteroit au vent ou sous le vent. (*Voyez* prob. 69.) |
| 18. Reconnoître en mer la supériorité ou l'infériorité de la marche d'un vaisseau à l'égard d'un autre. (*Fig.* 84.) | 18. Suivez le même air de vent que suit le navire auquel vous voulez vous comparer, mettez la même voilure que lui. Si le second relèvement que vous faites du vaisseau observé, fait un angle plus petit ou plus grand avec la route, que celui observé d'abord, on aura l'infériorité ou la supériorité. Mais si l'angle restoit le même, il y auroit égalité. | 18. Mettez la même voilure que le vaisseau auquel vous voulez vous comparer; orientez les voiles de la même manière, et courez sur le même air de vent. Observez ensuite l'air de vent auquel se trouve l'autre vaisseau par rapport à vous. Quelque tems après faites le même relèvement; si le vaisseau correspond au même air de vent, il y aura égalité dans la marche. Si le second relèvement donne un air de vent qui fasse avec la route un angle plus petit qu'auparavant, on aura le désavantage de la marche. Mais si le second relèvement donne au contraire un air de vent faisant avec la direction de la route un angle plus grand que celui d'abord observé, on aura l'avantage de la marche. On reconnoitra aussi cet |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | avantage, si on relève l'autre vaisseau par son travers, c'est-à-dire sur un air de vent perpendiculaire à celui de la route. (*Voyez* prob. 70.) |
| 19. Un vaisseau étant au vent d'un autre, on demande comment le premier pourra atteindre le second; ou autrement de quelle manière le premier peut donner chasse au second. (*Fig.* 85.) | 19. Choisissez un air de vent oblique à celui sous lequel le vaisseau chassé a été observé et gardez ce dernier constamment sur le même air de vent. | 19. 1.° Le vaisseau chasseur doit reconnoître l'air de vent auquel se trouve le vaisseau chassé. 2.° Le chasseur choisira une route d'autant plus inclinée à l'air de vent observé, que sa marche sera plus avantageuse. 3.° Il disposera sa voilure de manière à conserver le vaisseau chassé, toujours sur le même air de vent, ayant soin de diminuer de voiles, s'il devançoit, ou bien encore de choisir un air de vent plus voisin de celui sur lequel le vaisseau chassé a d'abord été relevé. (*Voyez* prob. 71.) |
| 20. Comment le vaisseau chassé peut-il éviter le | 20. En arrivant et choisissant la route la plus | 20. Le vaisseau chassé doit changer souvent de route, et surtout choisir celle suivant la- |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| vaisseau chasseur, lorsque celui-ci se trouve au vent? | favorable à la marche du vaisseau, ou bien en changeant souvent de route. | quelle sa marche est la plus avantageuse. En manœuvrant ainsi, il pourra arriver, ou que le vaisseau chasseur perde ou affoiblisse ses avantages, ou que sa marche sous quelques-unes de ces nouvelles allures soit inférieure, ou que la nuit venant dérober à la vue le vaisseau chassé, celui-ci en profite pour tenir une route toute opposée à celle que le chasseur pourroit présumer. (*Voyez* prob. 71.) |
| 21. | 21. | 21. |
| Quelles manœuvres doit faire un vaisseau qui est sous le vent d'un autre, pour donner chasse à cet autre? (*Fig.* 86.) | Pincer le vent le plus possible, courant des bordées qui ne soient pas trop courtes, et tâchant de garder toujours l'ennemi en vue. | 1.° Reconnoissez la route que suit le vaisseau chassé, et tenez la même route que lui, en employant le plus de voiles possible, et les orientant pour obtenir la plus grande vitesse ; ou plutôt tenez la route du plus près du vent, mettant les amures au même bord que le vaisseau chassé. 2.° Lorsque vous relèverez l'autre vaisseau par votre travers, vous virerez de bord, suivant l'autre ligne du plus près, |

| PROBLEMES à résondre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | 3.° A l'instant que vous serez parvenu à relever le vaisseau chassé par votre travers, vous virerez encore de bord, et vous reprendrez l'autre ligne du plus près. Ainsi de suite jusqu'à ce que vous ayiez atteint le vaisseau que vous poursuivez. On pourroit aussi ne virer que deux fois de bord ; la première pour passer de la route du plus près, ayant les amures au même bord que le vaisseau chassé, à celle du plus près, ayant les amures au bord opposé ; et la seconde pour faire route dans les eaux du vaisseau chassé. Cette méthode peut économiser le tems qu'on passe à virer de bord ; mais elle expose à laisser perdre de vue l'objet qu'on poursuit, lorsque surtout on en est déjà à une grande distance. (*Voyez* prob. 72.) |
| 22. Eviter, quand on est au vent d'un autre vais- | 22. Gagnez au vent et augmentez la vi- | 22. On n'a pas alors d'autres moyens que de gagner au vent le plus et le plus vite possible, |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| seau, les poursuites de ce dernier. | tesse le plus possible. Il peut être avantageux de virer plusieurs fois de bord. | en rendant très-aigu l'angle des vergues avec la quille ; en déployant toutes les voiles que le tems permet ; en roidissant les boulines, et en bordant à joindre. Si la nuit ou la brume survenoit on changeroit de route, choisissant la plus avantageuse pour la marche, ou celle que le vaisseau chasseur ne pourroit que difficilement présumer. (*Voyez* prob. 72.) |
| 23. Sonder à la voile. | 23. Il faut amortir ou détruire pour quelques instans l'aire du vaisseau. | 23. La manière la plus exacte seroit de mettre tout-à-fait en panne. Autrement on se contentera de diminuer l'aire du navire, en larguant les écoutes, ou bien en mettant les voiles en ralingue, ou encore en mettant vent dessus sur une ou deux voiles de l'arrière, et faisant venir le vaisseau au vent par le moyen du gouvernail dont vous mettrez la barre sous le vent ou au vent, selon que le vaisseau ira en avant ou qu'il culera. |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | On pourroit encore laisser les voiles de l'avant telles qu'elles sont, larguer les écoutes de celles de l'arrière, et mettre vent dessus au perroquet de fougue ou à l'artimon, employant le gouvernail pour détruire les arrivées du vaisseau. (*Voyez* prob. 74.) |
| 24. Mouiller par un beau tems. | 24. Disposez les choses, de manière que le vaisseau ait perdu sa vitesse à l'instant où il arrive au mouillage. Faites ensuite abattre le vaisseau, de manière qu'il ait le bout évité au vent ou au courant, ou bien entre le vent et le courant ; et enfin mouillez l'ancre après l'abattée. | 24. 1°. Carguez les basses voiles excepté l'artimon. Des voiles hautes ne conservez d'abord que les huniers et le perroquet de fougue. 2.° A mesure que vous êtes à une petite distance du lieu où vous devez mouiller, mettez les huniers sur le ton, ne navigant qu'avec le perroquet de fougue, réservant l'artimon pour l'instant où il faudra abatre. 3.° Lorsque le navire est presque au lieu du mouillage, commencez l'abattée en bordant l'artimon, s'il ne l'est pas. 4.° A l'instant où le vaisseau cule, jetez l'ancre qui doit |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | être prête au capon, et dès qu'on aura le bout évité au vent, mettez la barre au même bord que celui vers lequel on abattoit (*fig.* 89.)<br>5.° Laissez culer quelques instans jusqu'à ce que vous fassiez à peu près tête à l'ancre; et enfin carguez et pliez toutes les voiles (*fig.* 90.)<br>6.° Si l'ancre mouillée ne fournissoit pas un point d'appui suffisant, il faudroit en mouiller une seconde, et pour cela on abattroit du côté où on veut jeter cette deuxième ancre (*fig.* 91.)<br>Arrivé à cet endroit, on laisseroit tomber l'ancre d'affourche, en même tems qu'on viendroit au vent (*fig.* 92). On fileroit du cable à proportion, et enfin on se trouveroit placé le bout au vent et entre les deux ancres (*fig.* 93 et 94.) Alors on plieroit toutes les voiles et on se trouveroit placé comme le réprésente la figure 95.<br>7.° Dans le cas où la force du courant obligeroit d'éviter |

| PROBLÈMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DÉTAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | | le bout au courant, on manœuvreroit à l'égard de celui-ci, comme on l'a fait relativement à la direction du vent, c'est-à-dire, qu'on ne laisseroit tomber l'ancre qu'à l'instant où on auroit le bout évité au courant, le vaisseau ayant perdu à peu près toute sa vitesse. (*Voyez* prob. 74.) |
| 25. Mouiller par un gros tems. | 25. Arrivez au lieu du mouillage, les voiles pliées, se tenant au vent de ce lieu. Laissez un peu dériver et mouillez une ou plusieurs ancres. Dans des tems très-forcés, amenez les mâts supérieurs, et coupez même les bas mâts, s'il n'y a pas d'autres moyens de | 25. Carguez les basses voiles; mettez les huniers sur le ton, ou même carguez-les, et conservez l'artimon pour l'abattée si le vent le permet. Tenez-vous au vent de l'endroit où vous voulez mouiller, et faites ensorte que toutes les voiles soient pliées quand vous vous trouverez vis-à-vis le lieu du mouillage. Alors allez un peu en dérivant, et à l'instant où vous serez parvenu à ce lieu, laissez tomber l'ancre en filant du cable. Vous aurez aussi les autres ancres prêtes, et vous en mouillerez un plus ou moins |

| PROBLEMES à résoudre. | PRECIS des opérations à faire. | DETAIL des opérations indiquées. |
|---|---|---|
| | salut. Cherchez des termes de comparaison pour juger de vos changemens de situation. | grand nombre, suivant le besoin.<br>Dans des tems violens, on amène les mâts de hune, les basses vergues, on coupe même les mats inférieurs, quand il n'y a plus d'autres ressources de salut.<br>Il importe aussi de chercher des termes de comparaison d'après lesquels on puisse juger si le vaisseau a changé de situation. |

# TABLE

*Des angles des voiles avec la route, pour obtenir la plus grande vitesse possible.*

| ANGLES de la direction vraie du vent avec la route, ou valeurs de *a*. | ANGLES des voiles avec la route, ou valeurs de *b*. | DIFFERENCES des valeurs de l'angle *b*, pour 10° d'augmentation de *a*. | ANGLES d'incidence de la direction vraie du vent sur les voiles, ou différence entre les angles *a* et *b*. |
|---|---|---|---|
| 60° | 21° . 46′ | 4° . 6′ | 38° . 24′ |
| 70 | 25 . 52 | 4 . 33 | 44 . 8 |
| 80 | 30 . 25 | 4 . 51 | 49 . 35 |
| 90 | 35 . 16 | 5 . 09 | 54 . 44 |
| 100 | 40 . 25 | 5 . 27 | 59 . 35 |
| 110 | 45 . 52 | 5 . 41 | 64 . 8 |
| 120 | 51 . 33 | 6 . 03 | 68 . 27 |
| 130 | 57 . 36 | 6 . 13 | 72 . 24 |
| 140 | 63 . 49 | 6 . 23 | 76 . 51 |
| 150 | 70 . 12 | 6 . 34 | 79 . 48 |
| 160 | 76 . 46 | 6 . 35 | 83 . 14 |
| 170 | 83 . 21 | 6 . 39 | 86 . 39 |
| 180 | 90 . 00 | | 90 . 00 |

Pour construire cette table, il a fallu appliquer les logarithmes à la seconde formule XXIV, pag. 180. On a donc commencé par écrire cette formule sous la forme suivante,

$$-\tfrac{4}{3}\,\text{tang.}\,a\,\text{tang.}\,b = 1 \mp \sqrt{1 + \tfrac{8}{9}\,\text{tang}^2 a.}$$

Ensuite on a supposé un arc X, tel que $\text{tang.}^2 X = \frac{8}{9}\,\text{tang.}^2 a$. Alors la formule ci-dessus a donné

$$-\tfrac{4}{3}\,\text{tang.}\,a\,\text{tang.}\,b = 1 \mp \text{sec.}\,X = \frac{\cos. X \mp 1}{\cos. X} = \text{sec.}\,X\,(\cos. X \mp 1).$$

Or $\cos. X - 1 = -2 \sin^2 \frac{1}{2} X$ et $\cos. X + 1 = 2 \cos.^2 \frac{1}{2} X$.

Par conséquent on a eu

$$\text{tang.}^2 X = \tfrac{8}{9} \text{tang.}^2 a.$$

$$\text{tang. } b = \tfrac{3}{2} \cdot \frac{\cot. a \sec. X \sin^2 \frac{1}{2} X}{R^3},$$

$$\text{tang. } b = \tfrac{3}{2} \cdot \frac{\cot. a \sec. X \cos.^2 \frac{1}{2} X.}{R^3}$$

Formules dans lesquelles R exprime le rayon des tables, et qui en leur appliquant les logarithmes, donnent

$$\log. \text{tang. } X = \log. \text{tang. } a - \tfrac{1}{2} (\log. 9 - \log. 8)$$
$$\log. \text{tang. } b = \text{l. } 3 - \text{l. } 2 + \text{l. cot. } a + \text{l. séc. } X + 2 \text{ l. sin. } \tfrac{1}{2} X - 30.$$
$$\log. \text{tang. } b = \text{l. } 3 - \text{l. } 2 + \text{l. cot. } a + \text{l. séc. } X + 2 \text{ l. cos. } \tfrac{1}{2} X - 30.$$

Il importe ici d'observer que la première valeur de log. tang. $b$ ne peut être employée que pour les valeurs de $a$ au-dessous de $90^\circ$; et la seconde ne doit l'être que pour les valeurs de $a$ au-dessus de $90^\circ$ jusqu'à $180^\circ$ exclusivement.

Quant à la détermination de $b$ correspondante à celle de $a = 90^\circ$, on écrira la formule primitive sous cette forme,

$$\text{tang. } b = -\frac{3}{4 \text{ tang. } a} \pm \tfrac{3}{4} \sqrt{\frac{1}{\text{tang.}^2 a} + \tfrac{8}{9}};$$

D'où on tirera $\text{tang. } b = \pm \frac{1}{2} \sqrt{2}$ et $\text{tang.}^2 b = \frac{1}{2}$, à cause de $a = 90^\circ$, de $\frac{3}{4 \text{ tang. } a} = o$ et $\frac{1}{\text{tang.}^2 a} = o$.

Enfin, pour avoir $b$ correspondant à $a = 180^\circ$, on observera que $\text{tang } a = o$; ce qui donne tang. $b$ infinie et $b = 90^\circ$.

## OBSERVATIONS GÉNÉRALES

### *Sur la simplicité et la promptitude d'exécution dans les manœuvres.*

Nous avons fait connoître dans ce qui précède, les divers moyens à prendre pour produire dans le vaisseau tels ou tels mouvemens. Mais ces moyens ne doivent pas toujours être employés tous à la fois. Il est un heureux choix que les circonstances commandent, et qu'un manœuvrier intelligent ne manque jamais de faire.

S'il falloit tout dire, on feroit des volumes énormes qui encore ne donneroient pas de l'intelligence à ceux qui n'en ont point. Jamais, quoiqu'on fasse, on n'apprendra rien à celui à qui on est obligé de tout dire. C'est pourquoi nous nous contenterons d'ajouter ici quelques observations générales.

Quand on se dispose à exécuter une manœuvre, il faut la faire avec le moins de moyens possibles, et pouvoir cependant la faire dans le plus court espace de tems. Pour cela, il est nécessaire de bien connoître les qualités particulières de son vaisseau; d'avoir fait les calculs prescrits par la théorie; de les avoir soumis à l'expérience; d'avoir de bons matelots assujétis à une discipline juste, mais sévère; d'assigner à chacun son service, et de ne jamais permettre qu'on y fasse le moindre changement.

Il importe aussi que le vaisseau ne soit pas encombré ; que l'équipage ne soit ni trop ni trop peu nombreux, et surtout que le manœuvrier inspire la confiance et le respect par son éducation, par ses connoissances, et sa fermeté jointe pourtant à une certaine aménité. C'est dans le manque de ces qualités qu'on pourroit trouver la cause du peu de succès de beaucoup de manœuvres et des malheurs qui en ont été la suite.

# PRÉCIS

## DE TACTIQUE NAVALE.

### NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Les divers mouvemens que les vaisseaux sont obligés de faire pour se disposer à l'égard les uns des autres d'une manière régulière, forment ce qu'on appelle les *évolutions navales*.

L'art d'appliquer avec avantage ces évolutions à sa propre défense et à l'affoiblissement des forces ennemies, a donné naissance à la *tactique navale*, dont l'objet est surtout de donner la meilleure direction possible aux forces qu'on a sous ses ordres.

D'après les différentes manières de disposer les vaisseaux les uns à l'égard des autres, selon les circonstances, on a distingué *des ordres de marche*, *de bataille*, *de retraite* et *de chasse*.

L'ordre de marche se forme ordinairement sur trois colonnes parallèles, dirigées suivant une ligne du plus près du vent (fig. 96), ou seulement sur une des lignes du plus près tribord ou babord (fig. 97 et 98), ou bien sur la perpendiculaire à la direction du vent (fig. 99), ou encore sur la perpendiculaire à la route (fig. 100).

L'ordre de bataille se forme sur une des lignes du plus près (fig. 101 et 102), ou sur la perpendiculaire

du vent, ou même sur la perpendiculaire à la route (fig. 103).

L'ordre de retraite (fig. 104) consiste à se ranger sur les deux lignes du plus près, et à naviguer vent largue ou vent arrière, le sommet de l'angle étant au vent.

L'ordre de chasse n'est autre chose que celui de retraite renversé (fig. 105), c'est-à-dire qu'il est aussi formé sur les deux lignes du plus près, mais de manière que l'ouverture de l'angle soit du côté du vent, et le sommet sous le vent.

*Division d'une armée navale.*

Une armée navale se divise ordinairement en trois escadres, l'une destinée à former l'avant-garde, l'autre l'arrière-garde, et la troisième le centre ou le corps de bataille. Un certain nombre de frégates et d'autres petits bâtimens accompagnent l'armée, et sont destinés à aller à la découverte, ou à porter des ordres, ou à secourir les vaisseaux qui en ont besoin. Quelquefois aussi il y a une escadre légère formée des meilleurs voiliers, et dont la destination est d'éclairer la marche de l'armée, d'engager le combat, et de soutenir les vaisseaux mauvais voiliers, qui dans une retraite sont les plus exposés aux attaques de l'ennemi.

*Distribution des forces.*

En général, les forces doivent être distribuées le plus également possible sur toute la ligne, afin de n'être pas obligé à renforcer les parties foibles, en cas

d'attaque; ce qui multiplie les mouvemens et peut occasionner du désordre. Il faut cependant observer que les vaisseaux de la tête et de la queue étant les plus exposés à être attaqués, et étant ordinairement destinés à engager le combat, il importe qu'ils soient forts, bons voiliers, et commandés par d'habiles manœuvriers. Cette dernière observation doit s'appliquer aussi aux chefs de file et aux serre-files, quand on navigue formés sur plusieurs colonnes.

Les vaisseaux commandans sont placés communément au centre de leur escadre. Dans l'ordre de marche sur trois colonnes, le vaisseau amiral est au milieu de la colonne du centre; le vaisseau vice-amiral est au milieu de la colonne qui est au vent, et le vaisseau contre-amiral au milieu de la colonne placée sous le vent.

## DES ÉVOLUTIONS NAVALES.

### FORMATION DES ORDRES.

Dans la formation d'un ordre quelconque, il y a toujours un vaisseau qui commence le mouvement, et une fois ce vaisseau à son poste, tous les autres le prennent pour terme de comparaison: c'est ordinairement le vaisseau du général par le moyen duquel on juge de sa position. Souvent aussi c'est un chef de file, ou un serre-file, qui devient terme de comparaison, comme nous le verrons bientôt. Mais pour mettre plus d'exactitude et de célérité dans ses mouvemens, il

devient nécessaire de pouvoir connoître à quelle distance on est du vaisseau auquel on se compare, quel air de vent il faut suivre pour arriver à son poste, et enfin juger si on est dans la position qui nous a été assignée.

## PROBLÈME LXXVII.

*Connoissant la hauteur de la mâture d'un vaisseau, déterminer à quelle distance on en est.* (Pl. VI, fig. 106.)

Solution. Soit AB la plus grande hauteur de la mâture du vaisseau auquel on veut mesurer sa distance. Soit C le point où se trouve l'observateur. Il faut que le vaisseau qui est en C mesure l'angle ACB que fait l'horizontale AC avec le rayon visuel CB, qui aboutit au sommet B de la mâture. Dans le cas où les deux vaisseaux auroient leur gaillard à la même hauteur au dessus de l'eau, il n'y auroit qu'à tenir l'instrument verticalement et viser à l'extrémité inférieure visible A de la mâture.

Mais, dans le cas contraire, le rayon visuel inférieur prendroit la position CA′ ou CA″ en dessus ou en dessous de l'horizontal AC, selon que le gaillard du vaisseau observé seroit plus ou moins élevé que celui du vaisseau observateur; et alors on auroit à résoudre un triangle A′BC ou A″BC, dans lequel on ne connoîtroit qu'un côté et l'angle opposé C; ce qui rendroit sa résolution impossible.

Mais si on observe que la différence entre les hau-

teurs des gaillards des vaisseaux de ligne est fort petite, on pourra, sans grande erreur, considérer la droite CA comme une ligne horizontale; et alors on n'aura plus qu'à résoudre un triangle rectangle BAC dont on connoîtra le côté AB et l'angle opposé C. Seulement il faudra bien faire attention de ne prendre la mesure de l'angle C, qu'à l'instant où la mâture AB se trouvera dans une position verticale.

Cela posé, comme dans un triangle rectangle BAC le côté AC adjacent à l'angle C est au côté AB opposé au même angle, comme le rayon est à la tangente de cet angle, nous aurons

$$AC : AB :: 1 : \text{tang. } C;$$

D'où on tire

$$AC = \frac{AB}{\text{tang. } C} = AB \times \text{cot. } C \ldots\ldots \quad (61.)$$

Comme souvent on a besoin de savoir tout de suite à quelle distance on est d'un autre vaisseau, il faudra, d'après cette formule dresser une table des distances en donnant à l'angle C un grand nombre de valeurs, et même en faisant varier celles de la hauteur AB de la mâture.

La construction d'un triangle semblable au triangle ABC donneroit plus promptement, mais moins exactement la distance CA.

## PROBLÈME LXXVIII.

*Un vaisseau connoissant à quelle distance il est d'un autre qui est fixe, ainsi que la position qu'il doit prendre à l'égard de cet autre; on demande la direction que doit suivre le premier vaisseau pour se rendre à son poste; et par quels moyens il pourra juger qu'il y est réellement.* (Pl. VI, fig. 107.)

Solution. Soit M le premier vaisseau qui doit venir se placer en N, sur un air de vent connu ON, et à la distance ON d'un vaisseau fixe en O; OA étant la route que doit suivre le vaisseau O, lorsque tous les autres vaisseaux seront rendus à leur poste.

Le vaisseau M commencera par déterminer, d'après la méthode précédente, à quelle distance OM il est du vaisseau O; ensuite avec la boussole il relèvera le même vaisseau pour reconnoître sur quel air de vent il l'aperçoit. Sachant déja quel air de vent OA doit suivre le vaisseau O, il aura l'angle MOA, en prenant la différence des deux airs de vent.

Mais sa position en N étant déterminée par une méthode dont nous parlerons ci-après, il connoîtra la distance ON et l'angle AON.

Donc, dans le triangle MON, on connoîtra les deux côtés OM, ON et l'angle compris MON. On pourra

par conséquent déterminer l'angle M, ou la direction à prendre, d'après la proportion,

$$OM + ON : OM - ON :: \cot. \tfrac{1}{2} O : \tang. \frac{M-N}{2}$$

qui donne

$$\tang. \frac{M-N}{2} = \frac{OM-ON}{OM+ON} \times \cot. \tfrac{1}{2} O \ldots \ldots \quad (62)$$

Connoissant tang. $\frac{M-N}{2}$, on aura $\frac{M-N}{2}$; mais on connoît $\frac{M+N}{2} = \frac{180^\circ - O}{2} = 90^\circ - \tfrac{1}{2} O$:

Ajoutant donc la demi-somme des angles M et N à leur demi-différence, on aura le plus grand des deux; et retranchant leur demi-différence de leur demi-somme, on aura le plus petit des angles.

L'air de vent MN étant déterminé, on le suivra jusqu'à ce qu'on relève le vaisseau O sur l'air de vent déja trouvé, lorsqu'on a voulu connoître la position du vaisseau en N.

Il est nécessaire d'observer ici que le vaisseau M ne pourra suivre le rhumb direct MN pour se rendre en N (fig. 107), que dans le cas où le point N seroit sous le vent du vaisseau M; et dans celui encore où le lieu N (fig. 108) étant au vent du lieu M, le rhumb MN feroit avec la direction du vent un angle égal à celui que fait la ligne du plus près, ou plus grand que ce dernier.

## PROBLÈME LXXIX.

*L'ordre étant donné de se former sur trois colonnes à des distances connues, et l'intervalle d'un vaisseau à l'autre étant assigné, ainsi que le poste qu'on doit occuper; trouver à quelle distance on sera du vaisseau du centre, des chefs de file et des serre-files, et sous quels airs de vent on devra les relever.* (Pl. VI, fig. 109.)

Solution. Soient AD, EF et BC les trois colonnes à former sur un air de vent connu. Soit H le vaisseau du centre, et I le poste du vaisseau dont on veut avoir exactement la position, tant à l'égard du vaisseau H, qu'à l'égard des chefs de file A et E, et des serre-files D et F. Menons ensuite du point I aux points H, A, E, D et F, les droites IH, IA, IE, ID et IF.

Cela posé, les triangles rectangles IGH, IBA, ICD et ICF donneront

$$(63)\ldots\begin{cases}\text{tang. GIH} = \frac{GH}{GI} & \text{tang. AIB} = \frac{AB}{BI}\\ \text{tang. CID} = \frac{CD}{CI} & \text{tang. CIF} = \frac{CF}{CI}\end{cases}$$

et ensuite

$$(64)\ldots\ldots\begin{cases}HI = \sqrt{\overline{GH}^2 + \overline{GI}^2}\\ IA = \sqrt{\overline{AB}^2 + \overline{BI}^2}\\ ID = \sqrt{\overline{CD}^2 + \overline{CI}^2}\\ IF = \sqrt{\overline{CF}^2 + \overline{CI}^2}.\end{cases}$$

De sorte qu'en *général la tangente de l'angle que fait la direction de la route avec l'air de vent sur lequel on aperçoit un vaisseau de l'une des colonnes où l'on n'est pas, est égale à l'intervalle qui sépare les colonnes où les deux vaisseaux se trouvent, divisé par la distance du vaisseau observateur, à la perpendiculaire à la route, menée par le vaisseau observé.*

*Quant à la distance des deux vaisseaux, il suffira de faire la somme des carrés des deux termes de la fraction qui a donné la tangente de l'angle fait par la route et l'air de vent sur lequel on a aperçu le vaisseau auquel on s'est comparé, et enfin d'extraire la racine carrée de cette somme.*

Remarque. Ordinairement, dans l'ordre de marche sur trois colonnes, l'armée naviguant au plus près, le serre-file E (fig. 109 *bis*) de la colonne du centre doit relever le chef de file C de la colonne sous le vent, sur la perpendiculaire du vent; et il en doit être de même du serre-file F de la colonne du vent, par rapport au chef de file B de la colonne du centre. Alors il ne faut plus que connoître le nombre de vaisseaux, leur longueur, et la distance qu'on veut mettre de l'un à l'autre) distance ordinairement d'une encâblure ou de 100 toises ou 195 mètres), pour déterminer l'intervalle d'une colonne à l'autre, et l'air de vent sur lequel chaque serre-file doit relever les chefs de file.

En effet, soient les trois colonnes AF, BE et CD, dirigées suivant une des lignes du plus près. La longueur de ces colonnes sera évidemment connue, dès qu'on saura le nombre de vaisseaux qui doivent les

former, la longueur de ces vaisseaux et la distance de l'un à l'autre.

Mais on sait que la direction VO du vent fait avec la ligne du plus près OB un angle de 67°, 5, tandis que les perpendiculaires du vent BF et CE font avec la ligne du plus près EB des angles EBF et BEC, qui sont le quart de 90° ou 22°, 5.

Par conséquent les droites AE, BF, BD et CE, menées de l'une des extrémités d'une colonne à l'extrémité opposée de la colonne immédiatement voisine, feront partout avec ces colonnes des angles qui seront de 22°,5 ou d'un quart de 90°.

D'où il suit que la longueur AF étant connue, si par les deux extrémités A et F on fait passer des perpendiculaires à AF, et que par le point A on mène la droite AE, de sorte que l'angle EAF soit le quart de l'angle droit BAF, le point de rencontre E des droites AE et FD donnera la distance EF des colonnes.

Il est également évident que les serre-files E et D, l'un de la colonne du centre, et l'autre de celle sous le vent, devront relever les chefs de file A et B de la colonne voisine qui est au vent, sur un air de vent qui fasse avec la route un angle de 22°,5 du côté du vent.

## PROBLÈME LXXX.

*Se former en ordre de marche sur trois colonnes, suivant la ligne du plus près babord.* (Pl. VI, fig. 110.)

Solution. Chaque vaisseau doit savoir d'avance à quelle distance les colonnes doivent être l'une de

l'autre ; à combien de câbles chaque vaisseau doit être de son matelot d'avant, et enfin sur quelle colonne et à quel rang il doit se placer. D'après ces données, chaque vaisseau déterminera d'abord à quelle distance il doit se trouver du général, et sur quel air de vent il le relèvera lorsqu'il sera rendu à son poste. Ensuite il cherchera la direction à prendre pour s'y rendre le plus directement possible.

Dès que le général sera rendu à son poste, il mettra en panne, et chaque vaisseau commencera à se mettre en mouvement. Ceux qui seront au vent du poste qui leur a été assigné arriveront, tandis que ceux qui se trouvent sous le vent de leur poste viendront au vent. Les premiers pourront toujours se diriger suivant l'air de vent direct déterminé par le calcul. Mais les seconds ne le pourront que dans le cas où le rhumb direct fera avec la direction du vent un angle de 67° ½ ou au-dessus de cette valeur. Au défaut du rhumb direct, ils suivent la ligne du plus près, jusqu'à ce qu'ils soient sur leur colonne; alors par un virement de bord ils se rendront à leur poste.

La figure 110 représente la direction que prend chaque vaisseau, et les mouvemens qu'il fait pour se rendre au poste qui lui a été assigné ; l'examen attentif de cette figure suffira pour bien comprendre ce que nous venons de dire.

Remarque. On manœuvreroit d'une manière semblable s'il s'agissoit de se former en échiquier (*) sur

(*) Pour être en échiquier, il faut avoir les amures au bord opposé à celui de la ligne du plus près sur laquelle on est rangé. Dans ce cas, on fait route suivant la ligne du plus-près opposée à celle sur laquelle on est formé. Ainsi étant, par exemple, sur la ligne du plus près babord, la route seroit dirigée suivant la ligne du plus près tribord.

une des lignes du plus près, ou sur la perpendiculaire du vent, ou sur la perpendiculaire à la route, ou de toute autre manière. Voyez les figures 111, 112 et 113.

## DU RETABLISSEMENT DES ORDRES.

## PROBLÈME LXXXI.

*Rétablir l'ordre de marche sur trois colonnes, lorsque le vent refuse.* (Pl. VII, fig. 114)

Solution. Soit AHG la colonne du vent, BOF celle du centre, et CDE celle de sous le vent. Lorsque le vent refuse, sa direction tourne du côté de l'avant; de sorte que si on navigue au plus près, on ne peut plus continuer la même route; et on est forcé d'en suivre une autre qui fasse avec la première un angle égal à la variation du vent, et qui soit tournée du même côté. Ce changement de route produit dans le rectangle ABCDEFG un mouvement de rotation qui lui donne la position A'B'C'D'E'F'G'. Le centre de ce mouvement de rotation varie suivant qu'on a l'intention de se rapprocher plus ou moins de l'origine du vent, et se porter plus ou moins vers l'avant. Tantôt c'est le vaisseau du centre O qui en tient lieu (fig. 114); tantôt le chef de file A du vent (fig. 115); tantôt celui B de la colonne du centre (fig. 116); tantôt aussi le chef de file C de dessous le vent (fig. 117); on peut choisir aussi les serre-files pour centres d'évolution.

Dans le premier cas (fig. 114), le déplacement est moins grand, et l'ordre doit être plus tôt rétabli. Dans le second cas (fig. 115), les vaisseaux ont plus de chemin à faire pour se rendre à leur poste, et le mouvement porte l'armée plus au vent en même tems qu'elle la fait reculer un peu vers l'arrière.

Dans le troisième cas (fig. 116), on s'approche un peu moins de l'origine du vent ; la colonne du vent gagne un peu vers l'avant, tandis que la troisième colonne recule vers l'arrière.

Dans le quatrième cas (fig. 117), on gagne un peu moins au vent que dans le précédent ; mais toute l'armée fait un mouvement vers l'avant.

Si on choisissoit un serre-file pour centre de rotation, on perdroit au vent au lieu d'y gagner.

Dès qu'on a déterminé autour de quel vaisseau le mouvement de rotation aura lieu, ce vaisseau doit se mettre dans la direction de la nouvelle route et y rester en panne jusqu'à ce que l'ordre soit rétabli. Quant aux autres vaisseaux, chacun cherchera tout de suite quelle direction il doit prendre pour se rendre à son poste et manœuvrer à cet effet, se rappelant ce que nous avons dit précédemment sur la formation des ordres.

Voyons maintenant comment un vaisseau peut déterminer la direction qu'il doit suivre pour se rendre à son poste, lorsque le vent refuse d'une quantité connue.

**Pour cela, prenons le vaisseau N placé au milieu de DC. Sa nouvelle position sera en N′ milieu de D′C′. Or, si du vaisseau choisi pour centre de rotation, on mène deux droites l'une au point N et l'autre au point N′, nous aurons un triangle isocèle dont l'angle du sommet sera la variation du vent. De sorte qu'en nommant $x$ cette variation, nous aurons**

$$\left.\begin{array}{ll}\text{(Fig. 114) ang. } ONN' = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\, NON' = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\, x. \\ \text{(Fig. 115) ang. } ANN' = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\, NAN' = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\, x. \\ \text{(Fig. 116) ang. } BNN' = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\, NBN' = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\, x. \\ \text{(Fig. 117) ang. } CNN' = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\, NCN' = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\, x. \end{array}\right\} \ldots (65).$$

Donc, *dans une variation de vent, il faut retrancher de 90° la moitié de cette variation, pour avoir l'angle que doit faire la route à prendre pour se rendre à son poste, avec le rhumb de vent sur lequel on relevoit, avant la variation, le vaisseau [illegible] pour centre d'évolution.*

*Quant au nouvel air de vent sous lequel on apercevra le même vaisseau, il doit faire avec le précédent, un angle égal à la variation du vent. De sorte qu'on sera arrivé à son poste, dès qu'en suivant la route déterminée NN', on apercevra le vaisseau servant de centre de mouvement, sous un air de vent faisant avec le précédent, un angle égal à la variation du vent. Je n'ai pas besoin d'avertir qu'il faut bien faire attention dans quel sens doit tourner l'air de vent; ce qui ne sera pas difficile, dès qu'on aura reconnu si le nouveau poste doit être au vent ou sous le vent de celui qu'on occupoit avant la variation.*

## PROBLÈME LXXXII.

*Rétablir l'ordre de marche sur trois colonnes, lorsque le vent adonne.* (Pl. VII, fig. 118.)

Solution. On manœuvrera ici comme dans le cas où le vent refuse. Seulement la direction de la nouvelle route aura tourné vers l'arrière, au lieu d'avoir tourné vers l'avant; ce qui sera cause que les vaisseaux qui étoient dans le cas précédent au vent de leur nouveau poste, en seront sous le vent, et récipro-

quement que ceux qui en étoient sous le vent en seront maintenant au vent.

Il y a encore entre ces deux cas une différence remarquable : c'est que lorsque le vent refuse et qu'on navigue au plus près du vent, on est obligé de changer tout de suite de route ; tandis que lorsque le vent adonne, on peut faire commencer le mouvement par les chefs de file, faire continuer la même route par tous les autres vaisseaux, jusqu'à ce que se trouvant dans les eaux de leur chef de file, ils prennent la nouvelle route. (*Voyez* la figure 119.)

## PROBLÈME LXXXIII.

*Rétablir l'échiquier sur la ligne du plus près babord, lorsque le vent refuse.*

**Solution.** Dans ce rétablissement d'ordre, comme dans les précédens, on doit assigner toujours le vaisseau autour duquel se fait l'évolution. Lorsque c'est le vaisseau du centre qui reste fixe, une partie de l'armée s'approche de l'origine du vent et l'autre s'en éloigne (fig. 120). Mais si on tourne autour du serre-file ou du chef de file, l'armée tombera sous le vent ou s'élèvera au vent (fig. 121 et 122).

L'angle CNN' que fera la direction à prendre par chaque vaisseau, avec l'air de vent sur lequel l'armée étoit en ligne, sera toujours exprimé par $90° - \frac{1}{2} x$ ; $x$ étant la variation du vent.

Cette détermination de l'air de vent à suivre pour se rendre à son poste, suppose qu'on veuille conser-

ver la même distance entre les vaisseaux. Mais souvent il arrive qu'on veut l'augmenter ou la diminuer. Dans ce cas, les triangles CNN′ et ANN′ ne sont plus isocèles, et la détermination de l'angle CNN′ exige la résolution d'un triangle dont on connoît deux côtés et l'angle compris, et dont on veut connoître un des deux angles restans.

Employant donc la formule 62ᵉ (prob. 78) qui nous a déjà servi; faisant CN $= a$; CN′ — CN $= \pm n$, suivant qu'on a CN′ $>$ CN ou CN′ $<$ CN; la variation du vent $= x$ et représentant par D la différence entre les angles N et N′, nous aurons

$$2a \pm n : \pm n :: \text{cot.}\ \tfrac{1}{2}x : \text{tang.}\ \tfrac{1}{2}\text{D}$$

$$\left.\begin{array}{l}\text{tang.}\ \tfrac{1}{2}\text{D} = \dfrac{\pm n}{2a \pm n}\ \text{cot.}\ \tfrac{1}{2}x \\ \text{ang. N} = 90^\circ - \tfrac{1}{2}(x \pm \text{D})\end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots (66.)$$

Le signe $+$ ayant lieu pour le cas où l'intervalle entre les vaisseaux doit augmenter; et le signe $-$ lorsque ce même intervalle doit diminuer. Il est évident que si on avoit $n = o$, on auroit tang. $\tfrac{1}{2}$ D $= o$; D $= o$ et ang. N $= 90^\circ - \tfrac{1}{2}x$ comme nous l'avons déjà trouvé.

Nous n'avons pas besoin de répéter ici que ceux des vaisseaux qui seroient obligés de gagner au vent, pourroient être dans l'impossibilité de se rendre à leur poste par le rhumb direct; et qu'alors ils devroient suivre la nouvelle ligne du plus près, jusqu'à ce qu'étant au vent de leur poste, ils n'eussent plus qu'à virer de bord.

REMARQUE. Ce que nous venons de dire pour le rétablissement de l'échiquier, lorsque le vent refuse

est applicable au cas où le vent adonne. On a pourtant, dans ce dernier cas, l'avantage de pouvoir continuer la route, et de se rétablir insensiblement sans mettre en panne. Cependant la méthode prescrite paroît être plus simple et sujette à moins d'incertitudes.

On manœuvreroit d'une manière semblable, s'il falloit rétablir l'ordre de bataille sur une des lignes du plus près, ou sur la perpendiculaire du vent, ou sur la perpendiculaire à la route.

Il en seroit de même pour l'ordre de retraite ou pour celui de chasse. Seulement il faudroit que le centre d'évolution fût toujours au sommet de l'angle que forment les deux lignes du plus près. (Voyez fig. 123.)

Remarque. La détermination du rhumb direct à suivre pour se rendre à son poste est un moyen très-propre à simplifier les évolutions navales et à les rendre plus promptes. Mais il est des circonstances où cette détermination doit être connue à l'instant même où on reçoit l'ordre de faire l'évolution. Alors, à moins d'avoir des tables construites d'après les formules précédentes, ou d'avoir prévu l'ordre, il y auroit une perte de tems à faire le calcul. Dans pareil cas, on pourra employer la méthode graphique dont nous allons parler tout-à-l'heure, après avoir fait connoître l'usage du carré naval.

Nous observerons encore qu'il ne seroit pas toujours nécessaire que chaque vaisseau fît le calcul de la détermination du rhumb direct : car, dès que deux vaisseaux seront à leur poste, les autres pourront aisément s'y mettre. Mais il arrive souvent qu'obligés

d'évoluer ensemble pour ne pas perdre de tems, on ne peut pas attendre que quelques vaisseaux soient placés. Alors il faudroit que chacun fit le calcul ou l'opération graphique qui conduit au même résultat, quoique moins rigoureusement.

## PROBLÈME LXXXIV.

*Quel est l'usage du carré naval?* (Fig. 124.)

Solution. Le carré naval est un grand carré ABCD qu'on trace sur la dunette, de manière que l'un des côtés AD de ce carré soit parallèle à la longueur du vaisseau.

On trace encore dans ce carré les deux diagonales AC, BD : par son centre O, on mène aussi les droites EG, HF parallèles, l'une au côté AD, et l'autre au côté AB; ainsi que la droite PR, dont l'angle POE est le quart de l'angle droit ou 22° ½.

Cela posé, il est évident que puisque les deux diagonales se coupent en O à angles droits, et que le grand carré se trouve divisé en triangles rectangles égaux et isocèles, les angles DOH et COF sont chacun de 45°. Donc les angles DOE, COE sont chacun de 135°; par conséquent, si la droite OE est une ligne du plus près du vent, OD ou OC sera l'autre ligne du plus près suivant que le vent soufflera de V ou de T vers O.

Mais on sait que la perpendiculaire du vent fait avec chaque ligne du plus près un angle qui est le quart de l'angle droit. Donc la droite POR qui rem-

plit cette dernière condition représentera la perpendiculaire du vent, lorsque les droites DO et OE exprimeront les deux lignes du plus près.

Maintenant supposons que, dans l'ordre de marche sur trois colonnes, un vaisseau veuille s'assurer s'il est à son poste, en supposant que les autres y soient: un observateur se placera au centre O, et il faudra qu'il relève suivant OE les vaisseaux de sa colonne, et suivant HF ceux au travers desquels il doit être.

Si on étoit formé en échiquier faisant route suivant la ligne du plus près OEI, il faudroit que tous les autres vaisseaux fussent aperçus suivant l'autre ligne du plus près OD.

Dans le cas où l'échiquier seroit sur la perpendiculaire du vent, le relèvement devroit se faire suivant POR, la route ayant lieu selon OEI.

## PROBLÈME LXXXV.

*Par quelles opérations graphiques pourroit-on déterminer le rhumb de vent direct pour se rendre à son poste, dans le rétablissement des ordres.* (Fig. 125.)

Solution. Le carré naval qu'on trace sur la dunette pour reconnoître si on est à son poste, pourroit, je pense, être remplacé avantageusement par une planchette posée sur un pied qu'on pourroit fixer sur la dunette même, et mobile comme le sont les graphomètres. Sur cette planchette seroit fixée une feuille

de papier ABCD où on auroit tracé une figure semblable à celle que forme l'armée navigant sur trois colonnes. Par le centre O on meneroit les droites GI et HK, de manière qu'on eût l'angle HOF = ang. FOG = 45°, et ensuite la droite POR, qui partageât l'angle HOF en deux parties égales.

Cela posé, la droite OI représenteroit une des lignes du plus près, lorsque OF exprimeroit l'autre, le vent étant dans la direction TO : tandis que le vent soufflant de V vers O, les deux lignes du plus près seroient OK et OF. Quant à la droite POR, elle représentera la perpendiculaire du vent.

La planchette pourroit être garnie d'une petite boussole par le moyen de laquelle on détermineroit tout de suite l'air de vent suivant lequel est dirigée chaque ligne de la figure.

Une règle en cuivre XY, garnie de deux pinules et sur laquelle on pourroit avoir une échelle de parties égales, serviroit à viser aux objets, et à vérifier plus exactement qu'avec le carré naval, si on est à son poste ou non.

Mais on pourroit faire un autre usage de cette planchette pour la détermination du rhumb direct, lorsqu'il s'agit surtout d'un rétablissement d'ordre.

Par exemple, supposons que l'armée navigant au plus près et sur trois colonnes, le vent refuse, et qu'il y ait ordre de se rétablir en prenant le chef de file F de la colonne du milieu pour centre d'évolution. Par le point F menez la droite FB', de manière qu'on ait ang. BFB' égal à la variation du vent. Faites FB' = FB, et par le point B' élevez une perpendiculaire B'L'. Si on veut connoître l'air de vent que doit suivre

le vaisseau placé en L, on portera BL de B′ en L′, et l'angle BLL′ sera l'angle de la route que suivoit l'armée, avec l'air de vent LL′ que doit prendre le vaisseau L pour se rendre à son poste L′. L'angle L′FB ou L′FE fera connoître sur quel air de vent on devra relever le vaisseau F pour être en L′. Les angles se mesureront aisément par le moyen d'un rapporteur en corne. Toutes ces dernières lignes doivent être tracées au crayon, afin qu'on puisse les effacer quand on s'en sera servi. Si on n'avoit pas de planchette, on pourroit construire séparément les deux triangles ABL et ABL′, comme on les voit à côté de la même planchette.

Sans m'étendre davantage sur un sujet aussi simple, il est aisé de voir qu'on opéreroit d'une manière analogue en quelque ordre de marche ou de bataille qu'on fût formé.

## PASSAGE D'UN ORDRE A UN AUTRE.

### PROBLÈME LXXXVI.

*Passer de l'ordre de marche sur trois colonnes, suivant la ligne du plus près babord, à l'ordre de bataille sur la même ligne du plus près.* (Pl. VIII, fig. 126.)

Solution. 1.° Si on veut s'éloigner peu de l'origine du vent et se développer autant vers l'avant que vers l'arrière, on choisira la ligne du plus près qui passe par la colonne du centre. Alors celle-ci mettra en

panne, celle du vent arrivera, et celle de sous le vent gagnera au vent, manœuvrant comme il est représenté par la figure 126. Quant à l'angle que fait avec la ligne du plus près la direction que doit prendre un vaisseau, on le trouvera en résolvant un triangle rectangle dont on connoît les côtés adjacens à l'angle droit. Ainsi pour le vaisseau A on auroit

$$\text{tang. } A' = \frac{AB}{A'B}.$$

2.° Si on vouloit s'approcher de l'origine du vent et se développer vers l'arrière, on se formeroit sur la ligne du plus près qui passe par la colonne du vent (*fig.* 127); celle-ci resteroit en panne, les deux autres vireroient de bord vent devant et gagneroient au vent suivant les directions que chaque vaisseau auroit déterminées d'après la formule précédente.

3.° Si on aimoit mieux tomber sous le vent en se développant autant à l'avant qu'à l'arrière, on se formeroit sur la ligne du plus près qui passe suivant la colonne qui est sous le vent (*fig.* 128). Alors celle-ci vireroit de bord vent devant, navigueroit suivant la même ligne du plus près jusqu'à ce qu'elle fût arrivée à son poste; la colonne du centre arriveroit de 8 quarts pour venir prendre la place de celle qui va former l'arrière-garde; tandis que la colonne du vent arriveroit pour aller former l'avant-garde.

## PROBLÈME LXXXVII.

*Passer de l'ordre de marche sur trois colonnes, suivant la ligne du plus près babord, à l'ordre de bataille sur la ligne du plus près tribord.* (Pl. VIII.)

Solution. 1.° Si on veut se développer autant au vent que sous le vent, sans s'écarter plus à l'avant qu'à l'arrière, on choisira la ligne du plus près tribord qui passe par le milieu de la colonne du centre (*fig.* 129). Alors le vaisseau placé à ce centre virera de bord vent devant, et se mettra en panne dès qu'il sera sur la ligne du plus près tribord. Les vaisseaux de la colonne du centre en avant du milieu vireront de bord vent devant pour aller prendre leur poste en avant du vaisseau du centre; ceux à l'arrière de ce dernier arriveront pour aller se placer sous le vent du vaisseau du centre. Les vaisseaux de la colonne du vent, et qui se trouveront au vent de la ligne sur laquelle on se forme, vireront de bord vent devant, et en forçant de voiles ils iront se placer à l'avant-garde. Les vaisseaux de la même colonne situés sous le vent de la ligne du plus près tribord continueront jusqu'à ce que, parvenus sur cette ligne, ils vireront de bord vent devant par la contre-marche et iront à leur poste. Quant à la colonne sous le vent, elle arrivera, et lorsque chaque vaisseau se trouvera sur la ligne, il virera de bord vent devant.

Pour la détermination de l'air de vent direct à

prendre, on pourra employer la form. 62 du prob. 78. Mais ici, comme dans bien d'autres cas, on pourra se diriger d'après les vaisseaux déjà placés, et d'après la connoissance de la distance à laquelle on en est.

2.° Si on étoit dans l'intention de ne point s'approcher de l'origine du vent, et de se développer en s'étendant vers l'avant, alors on se formeroit sur la ligne du plus près tribord qui passe par le chef de file de la colonne du vent (*fig.* 130) : chaque vaisseau arriveroit d'une quantité déterminée par les formules précédentes ; et lorsqu'ils se trouveroient sur la ligne, ils vireroient de bord vent devant.

Enfin, si on vouloit gagner au vent en se rejetant vers l'arrière, on choisiroit la ligne du plus près qui passe par le chef de file de la colonne du vent (*fig.* 131). Ce chef de file vireroit de bord vent devant en forçant de voiles, et tous les vaisseaux de sa colonne viendroient faire la même manœuvre dans ses eaux. Les deux autres colonnes continueroient leur route. Mais leur chef de file arrivé sur la ligne du plus près tribord, vireroit aussi de bord vent devant, et tous les autres vaisseaux de leur colonne vireroient semblablement au même point. Ici, comme toutes les fois qu'on vire par la contre-marche, il faut que celui qui va virer de bord force de voiles, et que les autres en diminuent.

## PROBLÈME LXXXVIII.

*L'armée étant en ordre de marche sur trois colonnes et navigant au plus près, amures babord, on veut la faire virer de bord, en se reformant en trois colonnes sur l'autre ligne du plus près.* (Pl. VIII, fig. 131 *bis*.)

Solution. Le vaisseau C chef de file de la colonne de sous le vent virera de bord pour faire route suivant la ligne du plus près tribord. Le vaisseau B chef de file de la colonne du centre virera de bord en $n$ à l'instant où il apercevra le vaisseau C au point $q$ sur la perpendiculaire à la nouvelle route. Enfin le vaisseau A ne virera de bord qu'en $m$, et lorsqu'il relèvera les deux autres chefs de file B et C sur la perpendiculaire $mk$ à la route qu'on doit tenir. Quant aux vaisseaux qui viennent après, ils vireront de bord dans le même ordre, par la contre-marche, c'est-à-dire, au lieu même où s'est fait le virement de leur chef de file.

La raison de cette manœuvre est aisée à apercevoir. Le vaisseau C étant parvenu en $q$, lorsque le vaisseau B le relève du point $n$ sur la perpendiculaire $nq$ à la nouvelle route, il est visible que ce vaisseau C se sera rapproché de la colonne du centre d'une quantité exprimée par la perpendiculaire $qr$. Mais pendant que le vaisseau C a parcouru $Cq$, le vaisseau B a parcouru $Bn$ égal ou sensiblement égal à $Cq$. Donc, les

triangles $Cqr$ et $Bnp$ seront égaux; donc on aura $np = qr$.

Or si le vaisseau B eût viré de bord en même tems que C, la distance entre ces deux vaisseaux n'eût été que $pq$. Donc il faudra que le vaisseau B s'éloigne de $Bp$, d'une quantité $np = qr$.

Semblablement le vaisseau A ne doit virer de bord que lorsqu'il s'est éloigné de $Ah$ d'une quantité $mh = kl$, qui exprime de combien le vaisseau C s'est éloigné de la première route, à l'instant où le vaisseau A le relève sur la perpendiculaire à la nouvelle route qu'on suit.

## PROBLÈME LXXXIX.

*Une armée étant formée en échiquier sur la ligne du plus près babord, la faire passer en ordre de bataille sur la ligne du plus près tribord.* (Pl. IX.)

Solution. 1°. Si on veut conserver sa position à l'égard de l'origine du vent, on fera passer la ligne du plus près tribord par le vaisseau qui est le plus sous le vent (*fig.* 132). Ensuite chaque vaisseau, à l'exception de ce dernier, arrivera pour suivre le rhumb direct qui doit le conduire à son poste: Lorsqu'il y sera rendu, il viendra un peu au vent pour se mettre suivant la ligne du plus près tribord.

Quant au rhumb direct, on le trouvera en soustrayant 135° angle que font les deux lignes du plus près, de 180°; et en prenant la différence, on aura

l'angle que forme ce rhumb avec la ligne du plus près où on étoit d'abord. Cet angle sera donc de 22° et demi, en supposant que les vaisseaux conservent entr'eux le même intervalle : car autrement il faudroit recourir à la méthode exposée dans le problème 83.

2.° Pour se rapprocher de l'origine du vent sans se porter en avant de la ligne sur laquelle on est formé, on choisira la ligne du plus près tribord qui aboutit au vaisseau le plus au vent (*fig.* 133). Ce vaisseau continuera sa route; tous les autres vireront de bord vent devant pour se placer sur la ligne du plus près babord, et vireront ensuite par la contre-marche dans les eaux du vaisseau qui a commencé la manœuvre.

3°. Enfin, si on vouloit se développer en partie au vent et en partie sous le vent, en s'étendant également à droite et à gauche sur la perpendiculaire du vent, on prendroit la ligne du plus près tribord qui passe par le milieu de la ligne du plus près babord, et on manœuvreroit d'une manière analogue aux méthodes précédentes, et comme l'indique la figure 134.

## PROBLÈME XC.

*Passer de la ligne du plus près babord sur la perpendiculaire à la direction du vent.* (Pl. IX, fig. 135.)

**Solution.** 1.° Si on veut s'éloigner de l'origine du vent sans porter plus à droite qu'à gauche, on se formera sur la perpendiculaire du vent qui commence par le serre-file et s'étend du même côté qu'on faisoit

route. Le serre-file mettra en panne ; chaque vaisseau arrivera de 9 quarts, à cause que l'angle que fait la ligne du plus près avec la perpendiculaire du vent est de 22° et demi ; chaque vaisseau proportionnera sa voilure à l'espace qu'il doit parcourir ; et, parvenu à son poste, il viendra au vent de manière à se trouver en ligne, et mettra en panne jusqu'à ce que la ligne soit entièrement formée. En prescrivant d'arriver de 9 quarts, nous avons supposé qu'on ne vouloit pas agrandir la ligne, ni la raccourcir : car autrement il faudroit arriver d'un peu moins dans le dernier cas, et d'un peu plus dans le second, d'après la formule 66.

2.° Si on jugeoit à propos de s'approcher de l'origine du vent, sans porter plus à droite, on choisiroit la perpendiculaire du vent qui part du vaisseau de tête et s'étend vers la gauche (*fig.* 136). Ensuite le chef de file mettroit en panne après s'être rangé sur la perpendiculaire. Les autres vaisseaux vireroient de bord vent devant, et suivroient la ligne du plus près, amure tribord, jusqu'à ce qu'étant au vent de leur poste, ils vireroient encore vent devant pour se mettre dans les eaux du chef de file, ayant soin de reconnoître et d'observer les distances par les moyens déjà indiqués.

Nous observerons qu'en variant la position de la perpendiculaire, on pourroit s'éloigner plus ou moins du vent, et se développer plus ou moins à droite ou à gauche.

## PROBLÈME XCI.

*Une armée étant en ordre de bataille sur une des lignes du plus près, on veut la faire passer en ordre de bataille sur une ligne du plus près au même bord, mais plus éloignée du vent, d'une distance donnée, et qui en même tems porte vers l'arrière-garde, d'une quantité donnée aussi.* (Pl. IX, fig. 137.)

Solution. Soit AB la ligne du plus près tribord sur laquelle l'armée est en ordre de bataille, amures tribord. Soit AC la distance qu'on veut mettre entre la ligne du plus près AB et la ligne CD sur laquelle on se propose de se former sous le vent. Soit enfin AE la quantité dont on veut se porter ou s'avancer de A vers B.

Cela posé, le triangle rectangle AEC donnera

$$\text{tang. } CAE = \frac{CE}{AE} \text{ et } AC = \sqrt{\overline{AE}^2 + \overline{CE}^2}$$

$$\text{et ang. } FAC = 180^\circ - \text{ang. } CAE,$$

Expression de la quantité dont chaque vaisseau doit arriver. De sorte que sachant par ces formules de combien il faut arriver et la distance qu'on a à parcourir, chaque vaisseau mettra en panne dès qu'il sera à son poste, attendant que les autres y soient parvenus. Alors on se placera sur la ligne du plus près, mettant les amures au bord convenu.

Dans le cas où on voudroit se former sur une ligne plus longue ou plus courte que celle que l'on quitte, chaque vaisseau ne devroit pas arriver de la même quantité. Alors on calculeroit ainsi l'arrivée de chacun. Soit, par exemple, le second vaisseau de tête H. Si du point K où il doit se rendre, on abaisse une perpendiculaire KI, on formera le triangle rectangle HIK dont le côté HI est égal à AE plus ou moins la quantité dont la distance entre deux vaisseaux doit être augmentée ou diminuée. De sorte que nommant $n$ cette augmentation, on aura

$$\left.\begin{array}{ll}\text{Pour le second vaisseau de tête,} & \text{tang. IHK} = \frac{CE}{AE \pm n}. \\ \text{Pour le troisième} \quad \ldots\ldots & \text{tang. NLM} = \frac{CE}{AE \pm 2n}.\end{array}\right\} \ldots (67)$$

Ainsi de suite.

## PROBLÈME XCII.

*Passer de l'ordre de bataille sur la ligne du plus près tribord, à l'ordre de retraite.* (Pl. IX, fig. 138.)

SOLUTION. Tous les vaisseaux sous le vent de celui du centre, et ce dernier compris, mettront en panne; tous les autres arriveront en se dirigeant suivant le rhumb direct qui doit les conduire à leur poste, et ils s'y trouveront dès l'instant qu'ils apercevront le vaisseau sur la ligne du plus près babord.

Voyons maintenant de combien chaque vaisseau doit arriver pour se rendre à son poste, et pour cela choisissons le vaisseau B. Si on ne veut pas changer la

longueur de la ligne, il est visible que le triangle ABC sera isocèle. Mais l'angle CAD que font entr'elles les deux lignes du plus près est de 135°; donc l'angle BAC qui est supplément de CAD sera de 45°. Donc on aura

$$\text{ang. ABC} = \frac{180° - 45°}{2} = 67°,5.$$

De sorte que chaque vaisseau arrivera de 112°,5.

Mais si on vouloit prolonger ou raccourcir la ligne, on auroit, d'après la formule 62 du problème 78,

$$\text{tang. } \tfrac{1}{2}\text{D} = \pm \frac{(\text{AB} - \text{AC})}{\text{AB} + \text{AC}} \text{ tang. } 67°,5$$

$$\text{ang. ABC} = 67°,5 \pm \tfrac{1}{2}\text{D}$$

$$\text{ang. CBE} = 112°,5 \mp \tfrac{1}{2}\text{D}.$$

## PROBLÈME XCIII.

*Passer de l'ordre de bataille sur la perpendiculaire du vent, à l'ordre de retraite.* (Pl. IX, fig. 139.)

Solution. On supposera que le sommet de l'angle formé par les lignes du plus près soit le milieu de la perpendiculaire du vent sur laquelle on se trouve. Le vaisseau du centre se mettra en panne, les vaisseaux de l'avant arriveront de l'angle CBE = 101°,25, si la longueur de la ligne reste la même, ou bien de la quantité CBE = 101°,25 $\mp \tfrac{1}{2}$D, suivant que la ligne AB doit devenir plus grande ou plus petite, la

valeur de D se déterminant d'après la formule,

$$\text{tang. } \tfrac{1}{2} D = \pm \frac{(AB - AC)}{AB + AC} \text{ cot. } 11^{\circ},25.$$

Quant aux vaisseaux de l'arrière, ils arriveront d'un angle qui sera le supplément de l'arrivée que doivent faire les vaisseaux de l'avant. Lorsqu'un vaisseau relèvera celui du centre sur la ligne du plus près suivant laquelle il doit être, il viendra un peu au vent, ou arrivera pour se mettre dans la route qu'on doit faire, et il mettra en panne jusqu'à ce que tous les vaisseaux soient à leur poste.

## PROBLÈME XCIV.

*Passer de l'ordre de retraite à l'ordre de bataille sur la ligne du plus près tribord.* (Pl. IX, fig. 140.)

Solution. Tous les vaisseaux situés sur la ligne du plus près tribord vireront sur tribord ou sur babord, suivant qu'on voudra combattre au plus près ou vent largue. Ensuite ils mettront en panne. En même tems les autres vaisseaux tiendront la ligne du plus près tribord, et lorsque chaque vaisseau aura parcouru, suivant cette ligne, tout l'espace qui doit le séparer du vaisseau du centre, il virera de bord vent devant, tiendra la ligne du plus près babord, et lorsqu'il sera un peu au vent de son poste, il arrivera pour s'y rendre, et enfin il revirera, s'il le faut, pour se mettre en ligne prêt à combattre du bord convenu.

# PROBLÈME XCV.

*Passer de l'ordre de retraite à l'ordre de bataille sur la perpendiculaire du vent.* (Pl. IX, fig. 141.)

Solution. 1.° Si on a intérêt à ne pas se rapprocher de l'origine du vent, ni à se développer plus à droite qu'à gauche, on supposera que la perpendiculaire du vent passe par les deux vaisseaux extrêmes situés sous le vent de toute l'armée.

Ensuite ces deux vaisseaux se rangeront sur la perpendiculaire du vent, le chef de file, n.° 1, ayant amure babord, et le serre-file, amure tribord. Parvenus à l'extrémité de la perpendiculaire, l'un des deux virera de bord vent devant. En même tems le vaisseau du centre gouvernera vent arrière, et parvenu sur l'alignement des deux premiers vaisseaux, il viendra au vent, mettra en panne et se soutiendra en ligne. Chacun des autres vaisseaux suivra un air de vent déterminé par les formules de l'avant-dernier problème; et, parvenu à son poste, il viendra au vent pour se mettre en ligne.

Ces formules appliquées au cas présent donneront pour le vaisseau B, et semblablement pour les autres

$$\text{tang.}\ \tfrac{1}{2}\,D = \pm\ \frac{(BE - CE)}{BE + CE}\ \text{cot.}\ 11^\circ,25$$

$$\text{tang.}\ EBC = 78^\circ,75 \pm \tfrac{1}{2}\,D,$$

selon qu'on a $BE < CE$ ou $BE > CE$.

2°. Si on étoit dans l'intention de ne point se rapprocher du vent, ni de s'étendre vers la droite, alors on se formeroit (*fig.* 142) sur la perpendiculaire qui commence au vaisseau n.° 7, auparavant vaisseau de tête, et qui se prolonge vers la gauche, ou du côté babord des vaisseaux faisant route. En manœuvrant d'une manière semblable à celle du cas précédent, on se formera aisément sur la perpendiculaire à la direction du vent.

3°. Enfin, si on vouloit un peu se rapprocher du vent et se développer vers la gauche (*fig.* 143), on pourroit choisir la perpendiculaire qui aboutit à la ligne du plus près babord, et passe par un des vaisseaux de cette ligne. Alors ce vaisseau qui est ici, n.° 2, viendroit au vent pour se ranger sur la perpendiculaire, et iroit à son poste pour s'y mettre en panne. Les autres vaisseaux se trouveroient, les uns au vent de leur poste, et les autres sous le vent. Mais chacun se dirigeroit suivant le rhumb direct trouvé d'après les formules précédentes.

## PROBLÈME XCVI.

*Passer de l'ordre de bataille sur la ligne du plus près tribord, à l'ordre de chasse, pour se reformer ensuite en ordre de bataille, sur la ligne du plus près babord.* (Pl. X, fig. 144.)

SOLUTION. 1.° Si on veut s'éloigner le plus possible de l'origine du vent, sans se développer à droite

plutôt qu'à gauche, on concevra la ligne du plus près babord aboutisssant au vaisseau de queue. Celui-ci arrivera et se mettra en panne; tous les autres vaisseaux arriveront aussi et suivront le rhumb direct de leur poste. Le vaisseau du centre et tous ceux de l'arrière seront parvenus à leur destination, dès qu'ils relèveront sur la ligne du plus près babord, le serre-file de l'armée. Quant aux vaisseaux de l'avant, il faudra qu'ils relèvent sur la ligne du plus près tribord, le vaisseau du centre.

Déterminons actuellement la quantité dont chaque vaisseau devra arriver pour se rendre directement à son poste. D'abord ceux de l'arrière, en y comprenant le vaisseau du centre, arriveront d'une quantité CBD déterminable comme précédemment par la résolution du triangle BAC.

Pour la valeur de l'angle FDE dont chaque vaisseau de l'avant devra arriver, il faudra d'abord pour le vaisseau D déterminer la ligne AE, ensuite l'angle DAE; et appliquer enfin au triangle DAE les formules précédentes. Or, ang. ACE $= 135°$; ang. CAD $= 45°$; outre cela, AC $=$ CE.

Donc ang. CAE $= \frac{180° - 135°}{2} = 22°,5.$

D'ailleurs AE : EC :: sin. C : sin CAE.

Donc AE $=$ EC $\times \frac{\sin. 135°}{\sin. 22°,5}$

ou

AE $=$ EC $\times \frac{\sin. 45°}{\sin. 22°,5}$

Maintenant on aura

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{tang. } \tfrac{1}{2}\,D = \pm \dfrac{(AD - AE)}{AD + AE} \text{ cot. } 11°{,}25 \\ \text{ang. } EDF = 101°{,}25 \mp \tfrac{1}{2}\,D. \end{array} \right.$$

L'angle DBC d'arrivée du vaisseau du centre se déterminera par les formules suivantes :

$$\text{ang. } CBD = 112°{,}5 \text{ , si } AB = AC$$

ou bien par

$$\text{tang. } \tfrac{1}{2}\,D = \pm \frac{(AB - AC)}{AB + AC} \text{ cot. } 22°{,}5$$

et

$$\text{ang. } CBD = 112°{,}5 \mp \tfrac{1}{2}\,D$$

Suivant qu'on a AC plus grand ou plus petit que AB.

Nous remarquerons ici qu'en faisant aboutir à tel vaisseau ou à tel autre, ou même à un autre point, l'extrémité de l'une des lignes du plus près, on gagneroit plus ou moins au vent ou sous le vent ; et on se développeroit plus ou moins à droite ou à gauche du lieu où on est.

2.° Supposons (*fig.* 145) qu'après s'être formé en ordre de chasse, on veuille se ranger en ordre de bataille sur la ligne du plus près babord. Alors le vaisseau du centre et ceux placés sur la ligne du plus près babord mettroient en panne, et les autres arriveroient suivant l'air de vent direct, jusqu'à ce qu'ils relevassent le vaisseau du centre sur la ligne du plus près babord.

## PROBLÈME XCVII.

*Passer de l'ordre de chasse à l'ordre de bataille sur la perpendiculaire du vent.* (Pl. X, fig. 146.)

Solution. Si on veut ne pas gagner au vent, et se développer autant à droite qu'à gauche du centre, on imaginera que la perpendiculaire du vent passe par le vaisseau du centre. Alors ce dernier mettra en panne, et tous les autres se dirigeront sur le rhumb direct qui doit les conduire à leur poste. La détermination de l'air de vent à suivre se fera d'après les méthodes précédentes.

Remarque. Les divers cas que nous venons de parcourir suffiront pour trouver les différentes évolutions à faire dans toutes les circonstances possibles; les efforts même qu'on fera pour cela, exerceront la sagacité, graveront les principes plus profondément dans la mémoire, et répandront plus d'intérêt et d'agrément sur l'étude. Il ne faut pas tout dire à l'homme, si on veut l'obliger à penser.

## USAGE DES ÉVOLUTIONS NAVALES DANS L'ATTAQUE ET LA DEFENSE.

---

## PROBLÈME XCVIII.

*Lorsque l'ennemi commence à être en vue, déterminer sur quel air de vent il est rangé; à quelle distance on en est, et enfin quelle est la longueur de la ligne sur laquelle il est formé.* (Pl. X, fig. 147.)

Solution. Soit AB l'armée sous le vent qui découvre l'ennemi formé sur la ligne CD. Au même instant le chef de file A et le serre-file B relèveront le chef de file C et le serre-file D ennemis. Par ce relèvement on connoîtra les angles ABC, ABD, CBD, et CAB, BAD, CAD. Mais on connoît aussi la longueur AB de la ligne. Donc dans les triangles ABD et BAC, on aura la valeur des angles et celle des côtés. On pourra par conséquent déterminer les côtés BD, AC et BC, d'après le principe que dans un triangle rectiligne les côtés sont comme les sinus des angles opposés à ces côtés.

On cherchera ensuite l'angle BCD et le côté CD par le moyen du triangle BCD dont on connoît l'angle CBD et les côtés adjacens BC, BD; et en employant la formule 62 du problème (78), ainsi que le principe

que nous venons de citer, on aura les formules suivantes :

$$BD = AB.\ \frac{\sin.\ BAD}{\sin.\ ADB} = AB\ \frac{\sin.\ BAD}{\sin.\ (BAD + ABD)}.$$

$$AC = AB.\ \frac{\sin.\ ABC}{\sin.\ (BAC + ABC)}.$$

$$BC = AB.\ \frac{\sin.\ BAC}{\sin.\ (ABC + ACB)}.$$

$$\text{tang.}\ \tfrac{1}{2} D = \pm \frac{(BC - BD)}{BC + BD}\ \text{cot.}\ \tfrac{1}{2}\ CBD.$$

$$\text{ang. } BCD = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\ \text{ang. } CBD \mp \tfrac{1}{2} D.$$

Suivant qu'on a BD $<$ ou $>$ BC.

L'angle BCD une fois déterminé, on connoîtra l'air de vent sur lequel la ligne ennemie est placée.

## PROBLÈME XCIX.

*Disputer le vent à l'ennemi* (Pl. X, fig. 148.)

SOLUTION. Soit AB l'armée sous le vent et CD celle qui est au vent, rangées l'une et l'autre sur la ligne du plus près tribord.

Si l'armée sous le vent se trouve à l'arrière des ennemis, elle se formera sur la ligne du plus près babord aboutissant à l'un des vaisseaux E de l'arrière; de sorte que le vaisseau A le plus au vent ne puisse pas couper dans sa route la ligne ennemie : observant pourtant de prendre la ligne EF du plus près babord la plus voisine possible de l'arrière D de l'ennemi.

Formée sur cette ligne du plus près babord, l'armée sous le vent suivra cette bordée en forçant de

voiles ; après l'avoir courue pendant quelque tems, elle revirera de bord par la contre-marche pour courir la ligne du plus près tribord FH, et continuera toujours de même jusqu'à ce qu'elle ait reconnu qu'elle a gagné au vent, ou qu'il lui est impossible d'avoir cet avantage.

On observera que de fréquens viremens de bord font perdre beaucoup de tems, et que, toutes choses d'ailleurs égales, il vaut mieux courir de longues bordées que de petites.

Il est visible que l'armée du vent doit, pour conserver son avantage, revirer de bord par la contremarche dans les eaux du vaisseau G qui est le plus au vent, et se former sur la même ligne du plus près que l'ennemi. En forçant de voiles et en ménageant ses bordées, on ne se laissera pas gagner au vent.

## PROBLÈME C.

*L'armée du vent étant composée du même nombre de vaisseaux que l'armée ennemie, veut défiler sur la tête de celle-ci.* (Pl. X, fig. 149, 150 et 151.)

Solution. Pour faire cette manœuvre l'armée du vent doit forcer de voiles, le vaisseau de tête arriver en dépendant sur l'avant-garde ennemie, et les autres doivent arriver dans les eaux du chef de file, de manière à défiler sur les premiers vaisseaux de l'avant-garde ennemie, et après avoir lâché leur bordée, ils

revireront de bord par la contre-marche, en suivant la ligne du plus près, amures opposées.

L'armée qui est sous le vent, pour éviter un combat désavantageux, ou pour profiter de ce mouvement de l'ennemi, pourra virer de bord tout à la fois et revirer ensuite par la contre-marche, pour suivre la ligne du plus près à bord opposé, et tâcher de gagner au vent.

Si l'armée du vent voulant se tenir hors la portée du canon du centre et de l'arrière-garde ennemie, faisoit mine de vouloir défiler sur l'avant-garde, s'étant formée sur la ligne du plus près opposée à celle que fait l'armée sous le vent, celle-ci pourroit se reformer sur la même ligne du plus près que l'ennemi, en faisant mettre en panne le vaisseau du centre, larguer les vaisseaux au vent de ce dernier, et courir deux bordées aux autres pour les faire mettre en ligne.

Lorsque les deux armées se trouvent sur la même ligne du plus près, celle de sous le vent peut empêcher que l'ennemi ne défile sur elle, en le tenant bien par son travers, et tâchant d'enfiler les vaisseaux qui arrivent pour la canonner.

## PROBLÈME CI.

*Les deux armées étant du même nombre de vaisseaux, celle du vent veut défiler sur l'arrière-garde de l'ennemi.* (Pl. X, fig. 152.)

Solution. Pour l'exécution de cette manœuvre, il faut nécessairement que l'armée du vent coure à bord opposé.

Mais alors l'armée sous le vent, pouvant éviter cette sorte d'attaque, doit, même avant d'être à la portée du canon, virer de bord tout à la fois, revirer par la contre-marche, et venir se former sur l'autre ligne du plus près afin de tâcher de gagner au vent.

L'armée du vent revirera de même pour se former sur la même ligne du plus près, et empêcher que l'ennemi ne gagne au vent.

## PROBLÈME CII.

### *Forcer l'ennemi au combat.*

Solution. Si on est au vent, l'armée arrivera tout à la fois, de manière que chaque vaisseau ait la proue dirigée constamment vers celui qu'il doit combattre. On tâchera de bien se conserver en ligne pendant ce mouvement, et lorsqu'on sera assez près de l'ennemi, l'armée viendra au vent tout à la fois, et fera la même route que lui. Si on craint que l'ennemi n'évite le combat, on détachera les meilleurs voiliers pour attaquer la tête ou la queue et l'arrêter dans sa fuite. Quelquefois aussi on n'aura qu'à se former sur une autre ligne du plus près qui coupe la route de l'armée ennemie.

L'armée sous le vent qui veut éluder le combat ou le différer dans l'espoir de quelque circonstance favorable, doit avoir soin de se tenir à une assez grande distance de l'ennemi et sur le même air de vent; de sorte qu'elle changera sa route dès que ce dernier en changera. Mais si on étoit dans l'intention d'éviter

tout-à-fait le combat ; il faudroit tâcher de se tirer de la vue de l'ennemi : autrement celui-ci finiroit par vous y forcer.

L'armée sous le vent qui veut combattre, doit donner chasse à celle du vent, en se formant successivement sur les lignes du plus près tribord et babord, et en détachant les plus fins voiliers pour harceler l'ennemi et commencer le combat.

L'armée du vent qui veut éviter ou différer l'action, courra les mêmes bordées que l'armée de dessous le vent ; et en forçant de voiles elle pourra éluder les efforts de l'ennemi, si toutefois elle a une bonne marche sans traîneurs qui la retardent.

## PROBLÈME CIII.

*Etant au vent, doubler l'avant-garde ennemie.* (Pl. XI. fig. 153, 154, 155 et 156.)

Solution. Si l'armée du vent est plus nombreuse, elle élongera facilement la tête de l'ennemi, et pendant que le reste de l'armée tient celui-ci en respect, les vaisseaux qui auront élongé arriveront, et se placeront sous le vent par le travers de l'avant-garde doublée.

L'armée sous le vent n'aura guère d'autre parti à prendre que celui de virer tout à la fois, afin d'engager le combat à bord opposé. Elle ne devra pas même attendre d'être trop près pour faire ce mouvement.

Si l'armée du vent n'étoit pas supérieure en nombre, elle seroit obligée de faire forcer de voiles à l'avant-garde pour élonger l'ennemi et le doubler ensuite.

Mais l'armée sous le vent fera alors arriver les vaisseaux placés vis-à-vis le vide que l'armée du vent a été obligée de former; et ces vaisseaux viendront mettre entre deux feux ceux qui avoient doublé l'avant-garde. Ou bien, sans attendre d'être doublée, elle enverra les vaisseaux qui n'ont aucun ennemi à combattre, pour doubler l'arrière-garde de l'armée du vent. L'armée sous le vent, lorsqu'elle n'est pas inférieure en nombre, peut empêcher qu'on ne la double, en se conservant bien par le travers de l'ennemi; et pour cela il faut qu'elle observe avec beaucoup d'attention les manœuvres de l'armée du vent; qu'elle diminue ou force de voiles comme elle.

## PROBLÈME CIV.

*L'armée sous le vent veut doubler l'arrière-garde ennemie.* (Pl. XI, fig. 157 et 158.)

Solution. Si l'armée sous le vent est plus nombreuse, elle tâchera de garder par son travers tous les vaisseaux ennemis placés de l'avant, et donnera ordre aux vaisseaux de l'arrière de virer de bord, et d'aller après une bordée se placer au vent de l'arrière-garde ennemie.

L'armée du vent voulant éviter d'être attaquée ainsi, pourra allonger sa ligne en faisant un vide vers le milieu.

Mais alors l'armée sous le vent fera virer de bord aux vaisseaux placés vis-à-vis la lacune, et les vaisseaux iront encore doubler l'arrière-garde.

## PROBLÈME CV.

*L'armée sous le vent étant composée de plus de vaisseaux, veut doubler l'avant-garde de l'ennemi.* (Pl. XI, fig. 159 et 160.)

Solution. L'armée sous le vent élongera la tête de l'armée du vent, et pendant qu'elle combattra les vaisseaux qu'elle a par son travers, les vaisseaux qui auront élongé vireront de bord, gagneront au vent, et viendront enfin canonner les vaisseaux de tête, ou tels autres sur lesquels on croira devoir tomber.

L'armée du vent pourroit peut-être éluder cette attaque en revirant par la contre-marche, et se formant sur l'autre ligne du plus près. Mais cette manœuvre a ses dangers lorsqu'on est fort près de l'ennemi ; car on court le risque des enfilades, de la poupe à la proue.

## PROBLÈME CVI.

*L'armée du vent veut couper l'armée ennemie pour mettre l'avant-garde de celle-ci entre deux feux.* (Pl. XI, fig. 161.)

Solution. Supposons que les deux armées étant également nombreuses, celle de sous le vent veille bien à n'être élongée d'aucun côté : alors l'armée du vent pourra chercher à couper la première. Si on ne peut empêcher cette manœuvre hardie, malgré le

peu d'intervalle qu'il y a d'un vaisseau à l'autre, les vaisseaux qui tenoient par leur travers ceux qui viennent couper la ligne, arriveront dès qu'ils verront qu'ils ne peuvent empêcher d'être coupés, lâcheront leur bordée, et iront se placer sous le vent des vaisseaux ennemis et les mettront aussi entre deux feux.

## PROBLÈME CVII.

*L'armée sous le vent étant plus nombreuse veut profiter d'une lacune dans l'armée ennemie pour la couper.* (Pl. XI. fig. 162.)

Solution. Les vaisseaux placés vis-à-vis la lacune vireront de bord vent devant, et après une ou deux bordées ils se trouveront au vent de l'ennemi; faisant alors la même route que lui, ils iront mettre entre deux feux les vaisseaux de l'avant.

L'armée du vent, pour éviter ce combat désavantageux, fera virer de bord vent devant aux vaisseaux qui sont à l'arrière de la lacune, tandis que les vaisseaux de l'avant vireront par la contre-marche dans les eaux du vaisseau de tête. De cette manière l'armée du vent ira se former sur la ligne du plus près, amures opposées.

## PROBLÈME CVIII.

*Traverser l'armée ennemie.* (Pl. XI, fig. 163.)

Solution. Pour tenter un projet si hardi, il faut être bien sûr de l'habileté de ses manœuvriers et de

l'inexpérience de l'ennemi. Cette manœuvre peut avoir pour objet de dégager des vaisseaux qui avoient coupé ou doublé la ligne ennemie : ce n'est guère que dans cette circonstance qu'on l'emploie. Pour l'exécuter avec plus de promptitude, il seroit avantageux de se former sur une ligne du plus près dont le prolongement passât par l'endroit où on veut traverser; ensuite arrivant tout à la fois et forçant de voiles, on traverseroit, s'occupant surtout de la manœuvre, plutôt que de lâcher des bordées.

L'ennemi, pour éviter cette manœuvre, devroit la prévoir et se tenir bien serré à l'endroit surtout qu'on paroîtroit vouloir attaquer. S'il ne peut l'empêcher, les deux vaisseaux entre lesquels on passe arriveront un peu pour lâcher leurs bordées à ceux qui traversent.

Un moyen efficace pour éviter d'être traversé, ou au moins pour rendre cette manœuvre plus difficile, seroit de se former sur la même ligne du plus près que celle qu'a choisie l'ennemi pour traverser (*fig.* 164). Mais pour ne pas dégager les vaisseaux séparés de l'armée ennemie, on se formera sur la ligne du plus près qui se trouve entre les vaisseaux séparés et l'armée qui veut traverser.

## PROBLÈME CIX.

### *Attaquer des vaisseaux au mouillage.*

**Solution.** On ne sauroit donner ici des règles précises pour ce genre d'attaque, qui doit varier suivant les lieux, les forces des deux armées, la position de

celle qui a mouillé, et selon la force et la direction du vent.

Nous nous contenterons d'observer qu'il vaut mieux ordinairement attaquer sous voiles que de mouiller. Si l'armée attaquée étoit en une seule ligne, on pourroit défiler sur une partie et la maltraiter beaucoup avant qu'elle eût pu recevoir du secours. Si elle avoit laissé derrière elle assez d'eau pour qu'on pût la tourner, on le feroit avec avantage. C'est ici surtout où les brûlots peuvent faire beaucoup de mal à l'ennemi.

L'armée qui est au mouillage doit toujours être prête à mettre à la voile et à se former en ligne, si l'ennemi vient l'attaquer. Dans le cas où cette manœuvre deviendroit impraticable sans de grands dangers, l'armée mouillée doit se placer de manière à ne pouvoir pas être doublée, et de manière encore à ce que toutes les parties de la ligne se défendent réciproquement, ayant soin de s'appuyer des batteries de la côte et de tirer un bon parti des localités.

## PROBLÈME CX.

### *Aller à l'abordage.* (Pl. XI, fig. 166.)

Solution. Cette manœuvre exige autant de courage que d'habileté. Il faut, pour son succès, que le vaisseau ait une supériorité de marche bien marquée sur celui qu'on attaque, qu'il soit commandé par un capitaine de sang-froid, bon manœuvrier, et secondé par un équipage expérimenté et intrépide. Si on est au vent du vaisseau qu'on chasse, on arrivera sur

lui pour le longer au vent et l'aborder dès qu'on sera à toucher. Afin de ne pas manquer l'abordage, il faudroit faire en sorte d'engager le bout dehors du beaupré dans ses haubans de misaine, et de lancer les grappins avec adresse et promptitude. Mais on aura besoin surtout de bien observer les mouvemens du vaisseau qu'on attaque, d'arriver lorsqu'il arrive, de venir au vent lorsqu'il y vient, et enfin de se conserver toujours sur une direction parallèle à celle qu'il suit. C'est dans ces momens que le pilote doit faire la plus grande attention à son gouvernail; car c'est lui principalement qui peut produire ces mouvemens vifs de rotation dont on a besoin pour longer l'ennemi. Si celui-ci, en voulant éviter l'abordage, présente l'arrière ou l'avant au travers du vaisseau chasseur, ce dernier doit en profiter pour le canonner dans sa longueur et le mettre hors d'état de pouvoir continuer à bien manœuvrer. Les voiles qu'on met rapidement sur le mât, et qui font culer le vaisseau, peuvent être employées efficacement à faire réussir ou manquer l'abordage.

Si on vouloit aborder sous le vent, il faudroit se mettre dans les eaux du vaisseau ennemi, lui lancer sa bordée de l'arrière à l'avant, et arriver un peu pour le longer sous le vent et l'aborder vivement.

Les manœuvres de celui qui veut aborder indiquent assez celles que doit faire le vaisseau qui veut éluder l'abordage. Ce dernier a à craindre d'être accosté ou enfilé. Il évitera le danger de la première position par des arrivées fréquentes, toutes les fois que l'ennemi sera sur le point de l'aborder; ou bien en culant rapidement pour rester en arrière; ou bien en forçant

de voiles pour aller en avant. On évitera les enfilades, en faisant en sorte que les arrivées ne soient pas trop grandes, et qu'elles soient telles qu'on ne présente que l'une des hanches au travers de l'ennemi au lieu de l'arrière. Mais, dans tous ces cas, il vaut mieux chercher à prolonger l'ennemi en forçant de voiles ou en culant, et le couper, si on a réussi dans le premièr mouvement.

Remarque. Les divers cas d'attaque et de défense que nous venons de parcourir, peuvent suffire pour trouver ce qu'il importe de faire, suivant les circonstances où l'on est. Mais les jeunes marins qui voudront approfondir l'esprit de la tactique navale, feront bien de chercher eux-mêmes divers plans d'attaque qu'ils examineront et discuteront avec soin. Dans cette discussion, ils auront égard aux divers moyens de défense que pourroit employer l'ennemi, ainsi qu'aux diverses fautes qu'il seroit dans le cas de faire. Il faut surtout qu'ils tiennent compte non-seulement du nombre et de la force des vaisseaux, mais encore de leurs qualités, du tems que chacun d'eux peut mettre à virer de bord, à parcourir tel ou tel espace; il faut qu'il ait égard à leur position plus ou moins favorable, au mal qu'ils peuvent recevoir, et en un mot à tous les accidens possibles. Après avoir fait un grand nombre de ces discussions, et avoir appliqué les principes trouvés à l'examen des divers combats qui ont eu lieu, on sera en état de bien profiter de l'expérience que procurent les longues navigations, et surtout les affaires auxquelles on se trouve.

*Maximes de tactique navale résultantes de ce qui précède.*

I.

L'armée du vent a des moyens d'attaque plus nombreux et plus faciles que ceux de l'armée située sous le vent. Elle peut plus aisément défiler sur l'ennemi, doubler la tête ou la queue, prolonger sa ligne par des lacunes, envoyer des détachemens sur l'armée ennemie, couper celle-ci et la traverser. Elle a le choix du genre d'attaque, et peut plus facilement prévoir les mânœuvres de l'ennemi. Elle a encore la liberté de combattre d'aussi près qu'elle veut, et de retarder l'instant de l'action. Elle peut surtout faire usage plus aisément de ses brûlots. Elle ne court pas le risque de voir le vent pousser la flamme des canons dans ses batteries, et a l'avantage de n'être pas incommodée par la fumée, et de mieux apercevoir les signaux. Il est vrai qu'une fois l'action bien engagée, elle ne peut guère en sortir sans traverser la ligne ennemie; ce qui est très-dangereux. D'ailleurs ses vaisseaux désemparés sont exposés à tomber sous le vent et entre les mains de l'ennemi, s'ils ne sont promptement secourus; et dans les gros tems elle ne peut guère faire usage de sa première batterie; circonstance peut-être la plus défavorable de toutes pour cette position.

Les avantages de l'armée du vent sont des désavantages pour celle située sous le vent, et réciproquement.

II.

L'ordre de bataille le plus avantageux à l'armée du vent est donc celui qui sera le plus propre à lui faire conserver sa position. Or l'ordre de bataille sur une des lignes du plus près paroît le plus convenable à cet effet, surtout quand on n'a pas à craindre une grande variation dans le vent; car peut-être y auroit-il alors une position plus favorable à prendre, qui, sans faire perdre l'avantage du vent, donneroit plus de moyens pour le conserver en cas de variation.

III.

L'ordre de bataille en ligne droite est le plus aisé à former et à conserver, en même tems qu'il est le plus propre au développement de toutes les forces que l'on a. Il a en outre l'avantage de mettre plus d'obstacles à ce qu'on soit doublé ou enveloppé.

IV.

Lorsque l'armée sous le vent se forme en ordre de bataille sur une ligne du plus près, elle peut plus aisément profiter des fautes de l'ennemi pour gagner au vent.

V.

L'armée sous le vent étant rangée sur la même ligne du plus près que l'ennemi, mais courant grand largue et faisant route à bord opposé, peut se soustraire aisément au feu de l'ennemi, et gagner ensuite le vent en se formant sur l'autre ligne du plus près; surtout si l'armée du vent ne vire pas de bord et se trouve retardée dans sa marche.

VI.

Il peut être souvent avantageux à l'armée sous le vent d'attendre l'ennemi, étant en ordre de retraite, afin de pouvoir se ranger plus aisément sur celle des deux lignes du plus près qu'elle croira convenable, lorsqu'elle pourra être assurée de celle de ces deux lignes sur laquelle l'ennemi lui présentera le combat.

VII.

L'ordre de bataille sur la perpendiculaire du vent semble plus propre à maintenir la ligne, à cause que la dérive et la force qui tend à pousser les vaisseaux sous le vent sont ici moins grandes qu'au plus près. Elle peut aussi présenter l'avantage de choisir promptement le bord sur lequel on veut combattre. Il est plus convenable à l'armée située sous le vent qu'à l'autre. Celle-ci doit s'y ranger dès que la première s'y trouve, si toutefois elle veut attaquer vivement. Dans cet ordre, les vaisseaux désemparés peuvent ensuite se remettre en ligne sans grande difficulté.

VIII.

Pour gagner le vent à l'ennemi, il faut se former sur la ligne du plus près à bord opposé, en la faisant aboutir au vaisseau de l'arrière le plus voisin de la queue de l'ennemi, sans pourtant traverser celui-ci; courir ensuite cette même bordée, tant que l'autre armée ne vire pas de bord; et changer de bordée chaque fois que l'ennemi en change, à moins qu'on ne crût pouvoir gagner plus au vent, en en courant de plus longues qu'en en changeant plus souvent.

IX.

L'armée du vent qui veut éviter ou différer le combat, virera de bord, courra diverses bordées, ayant l'attention de les faire plus longues que courtes, jusqu'à ce qu'elle ait perdu l'ennemi de vue, et pris quelque fausse route, si elle ne veut pas combattre; ou bien il faut qu'elle arrive sur l'ennemi, après avoir pris toutes ses mesures.

X.

L'armée sous le vent qui veut éluder ou retarder le combat pourra arriver, et courir largue ou vent arrière en ordre de retraite. Elle éviteroit infailliblement l'action, si, bien attentive aux mouvemens de l'ennemi, elle changeoit la position de sa ligne chaque fois que l'ennemi en change, en la conservant parallèle à la sienne. Mais pour cela il faudroit encore que l'armée du vent ne pût pas détacher quelque fin voilier, dans le dessein d'engager le combat.

XI.

L'armée du vent peut, avec moins de dangers que celle sous le vent, former des lacunes, pour élonger la tête ou la queue de l'ennemi, et les doubler ensuite. Elle peut aussi avec beaucoup plus de facilité couper ou traverser la ligne ennemie, à cause qu'elle exécute cette manœuvre vent largue ou même vent arrière.

XII.

Pour éviter d'être élongé, et les attaques ou les effets qui résultent de l'élongement, il importe de

bien conserver son ennemi par son travers, de le tenir en échec par un feu vif et bien dirigé, et d'envoyer les vaisseaux qui n'ont personne à combattre, au secours de ceux qui sont menacés ; ou bien de faire une diversion qui soit favorable à ceux-ci.

## XIII.

On évite d'être coupé ou traversé, en serrant bien la ligne, et en faisant un feu bien nourri sur les vaisseaux qui veulent tenter ce coup de main. Si ce moyen n'étoit pas praticable, il faudroit, ou arriver, ou se former promptement sur une autre ligne.

## XIV.

Lorsqu'on vire de bord, ou qu'on arrive, il faut éviter autant que possible d'être enfilé. Voilà pourquoi l'armée du vent doit arriver, en dépendant, sur l'armée qui est sous le vent ; et celle-ci doit attendre, pour virer de bord tout à la fois, que l'ennemi ait lâché sa bordée. Cette manœuvre seroit moins dangereuse, si on n'étoit pas dans le même ordre de bataille que l'ennemi, ou si on s'en trouvoit à une assez grande distance.

## XV.

Dans les viremens de bord par la contre-marche, il faut bien faire attention aux mouvemens de son matelot d'avant ; avoir la précaution d'arriver un peu ou même de pincer un peu plus le vent, pour éviter l'abordage. Il me semble, sauf la rectification de l'expérience, que dans un virement de bord par la contremarche, il suffiroit que toute l'armée diminuât un peu de voiles, et que le premier qui doit virer, forçât

sa marche, pour éviter de tomber sur son matelot d'arrière: ainsi de suite d'un vaisseau à l'autre, jusqu'à ce que le virement total fût achevé.

XVI.

Il est de la plus haute importance, pour bien se disposer à un combat, d'avoir une connoissance parfaite des lieux où l'on se trouve, c'est-à-dire, des vents qui y règnent, de leur variation dans toutes les époques de l'année, ainsi que de la force et de la direction des courans. C'est d'après cette connoissance qu'on pourra juger s'il est avantageux de commencer ou de différer ou même d'éluder le combat, de prendre sa position au vent ou sous le vent.

XVII.

Une armée qui, pour la première fois sort du port, a ordinairement du désavantage à se battre contre un ennemi qui a déjà tenu la mer pendant quelque tems; à cause qu'on a besoin d'essayer ses vaisseaux pour y faire les changemens nécessaires, et que les équipages ne sauroient manœuvrer avec la même dextérité qu'après une navigation un peu longue.

XVIII.

Quand une armée mouille, elle doit le faire de manière à pouvoir appareiller par le même vent qui conduiroit l'ennemi sur elle. Si elle ne le pouvoit pas, elle devroit se disposer de telle sorte que l'ennemi se trouvât entre deux feux; et pour cela il faudroit qu'entre elle et la terre il n'y eût pas assez d'eau pour mouiller, et même qu'elle eût soin de défendre par de bonnes estacades et par des brûlots

les passages par lesquels on pourroit peut-être la doubler. Encore faudroit-il n'avoir pas à craindre de s'échouer, dans le cas où le tems deviendroit mauvais.

XIX.

Quand on veut garder un passage, il faut avoir assez de vaisseaux pour distribuer l'armée en deux ou trois divisions, l'une qu'on placera au vent le plus près possible de la terre, l'autre sous le vent, et la troisième suivant les localités : de sorte que l'ennemi se trouve exposé à un feu si vif et si bien nourri, qu'il n'ose pas tenter le passage. On pourroit peut-être, dans certaines circonstances, se former sur les deux lignes du plus près, comme dans l'ordre de retraite ou celui de chasse. Cependant l'effet de l'artillerie sera plus grand, si l'ennemi, en passant, est obligé de suivre une direction parallèle à la position de l'armée qui garde le passage.

XX.

Aux approches d'une tempête, il vaut mieux se réfugier dans quelque bon mouillage que de tenir la mer ; cependant ce dernier parti seroit préférable à celui d'un mauvais mouillage. Mais, si on est forcé à tenir la mer, on se formera sur trois colonnes, augmentant la distance des vaisseaux sans augmenter celle des colonnes. Par ce moyen, on pourra éviter les abordages, sans trop s'exposer au danger d'être séparés et de ne pouvoir se donner des secours.

XXI.

Quand on poursuit un vaisseau, il faut tâcher de l'enfiler de l'avant à l'arrière ou, mieux encore, de

l'arrière à l'avant. Pour cela, il faut une grande attention à la manœuvre de l'ennemi, afin de l'élonger, de croiser sa route, et d'éviter d'être enfilé. Un coup de gouvernail donné à propos, qui fasse arriver ou venir au vent; ou bien quelque voile de l'avant ou de l'arrière mise en ralingue, ou encore une augmentation de voiles, pourront procurer cet avantage de position. Mais comme l'ennemi, par des mouvemens de rotation contraires, ou par une augmentation de vitesse, ou en culant, cherchera à nous tenir par son travers, il s'ensuit qu'il n'y a qu'une supériorité de manœuvre, ou une meilleure construction de vaisseau qui puissent seconder une pareille attaque.

## XXII.

Un vaisseau qui veut en aborder un autre, doit arriver sur lui, en dépendant, pour le mettre ensuite par son travers. Si l'ennemi cherche à l'éviter en tournant, il doit faire en sorte de l'enfiler, de couper ses manœuvres, afin de lui ôter les moyens d'éviter l'abordage.

Si en arrivant sur lui il peut engager son bout dehors dans les haubans de l'ennemi, il pourra ensuite l'aborder plus aisément. Il faut ne canonner l'ennemi que lorsqu'on en est très-près, afin de le déconcerter ou de lui ôter les moyens de bien manœuvrer. En général, ce genre d'attaque demande autant d'habileté que de courage et de sang-froid.

## XXIII.

Si le nombre et la force des vaisseaux concourent aux succès des armées navales, l'à-propos et par-

conséquent la promptitude et l'ensemble des évolutions y contribuent aussi beaucoup. On ne peut satisfaire à ces deux dernières conditions, sans un système de signaux qui réunisse la clarté à la promptitude. Mais, quelque parfait que soit le système qu'on ait adopté, il y a toujours, dans la transmission des ordres, une perte de tems souvent bien nuisible. Pour éviter ce grave inconvénient, il faudroit que les plans d'attaque ou les systèmes de défense eussent été discutés entre le général et les capitaines de vaisseaux, et que ceux-ci fussent prévenus d'avance des manœuvres qu'ils auroient à faire, suivant telles ou telles circonstances aisées à prévoir. D'ailleurs, si on observe que, d'après les principes, il est beaucoup de cas où les manœuvres à faire sont déterminées, on verra qu'on pourra donner aux capitaines une certaine latitude qui, en diminuant la grande multiplicité des signaux dont l'équivoque ou la mauvaise interprétation occasionne bien des malheurs, contribuera à la promptitude et aux succès des évolutions.

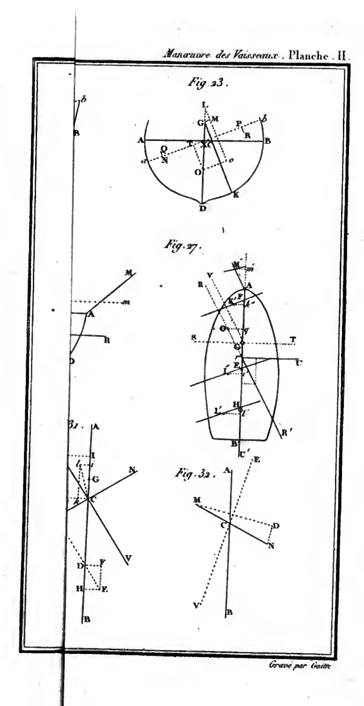
FIN.

# TABLE DES MATIÈRES

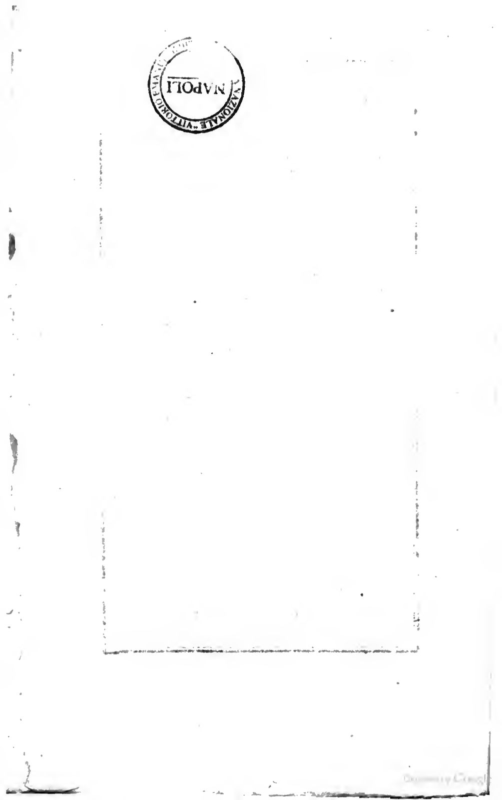
Suivant l'ordre alphabétique.

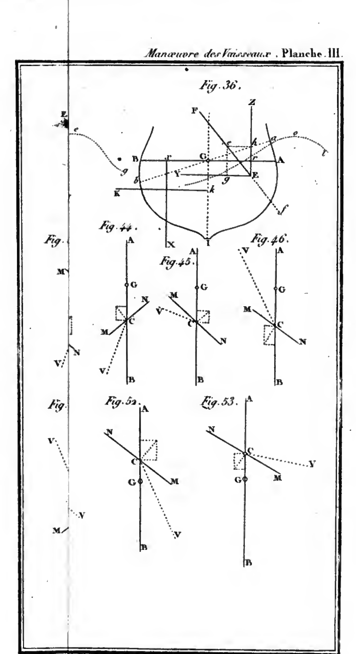
*Fin de la table.*

Gravé par Guitte




Gravé par Gaitte






Gravé par Gaitte.

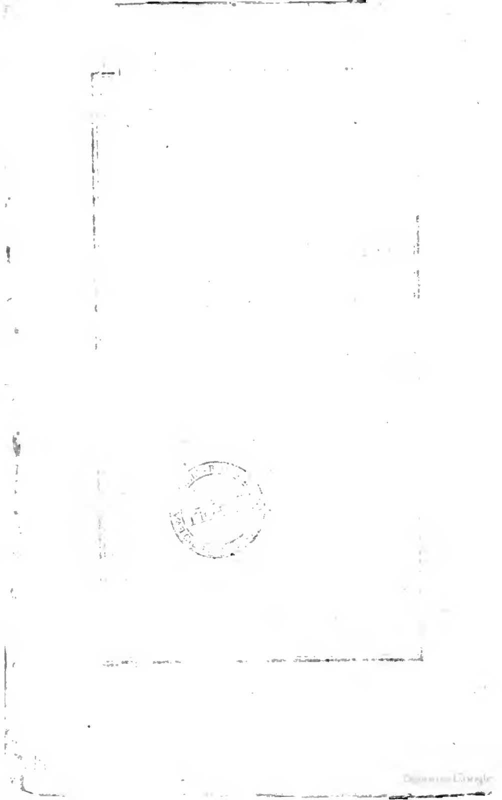


Fig. 59.

Fig. 60.

Fig. 67.

Fig. 68.

Fig. 72.

Gravé par Gaitte.

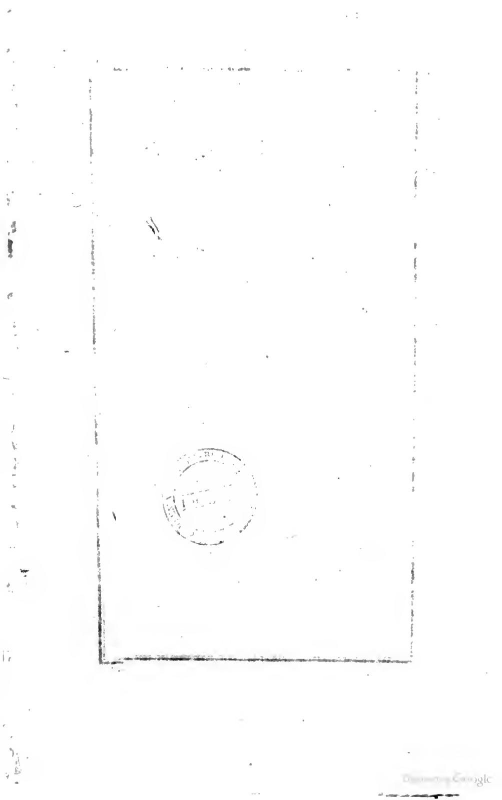


Fig. 77. Fig. 78. Fig. 79. Fig. 85. Fig. 86. Fig. 93. Fig. 94. Fig. 95.

*Gravé par Gatte.*



*Fig. 99.*

*Fig. 100.*

*Fig. 103.*

*Fig. 109.*

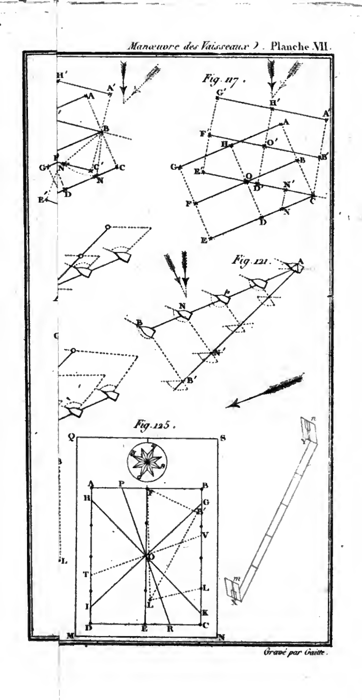
*Fig. 111.*

*Fig. 113*

*Fig. 109 (bis)*

*Gravé par Gatte*


BIBLIOTECA NAZIONALE
NAPOLI



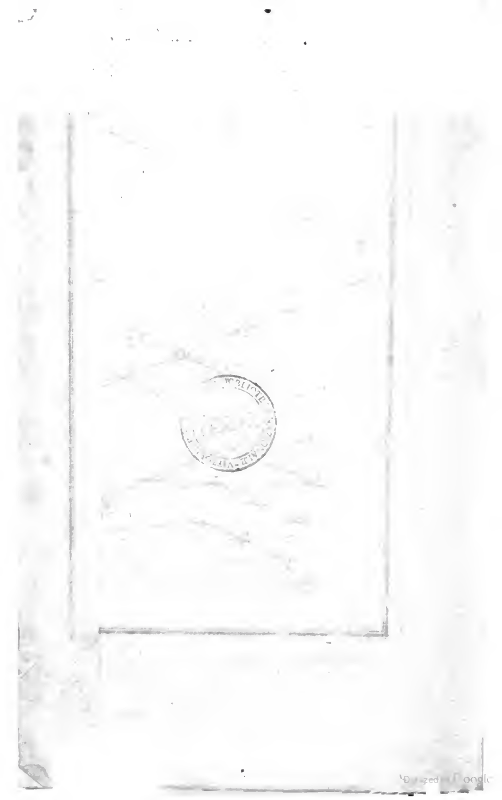

Gravé par Gaitte.

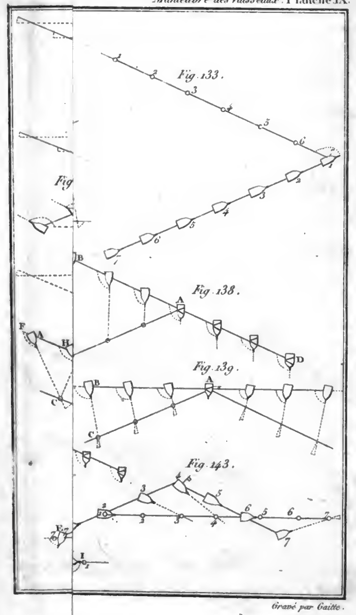
Fig. 127.

Fig. 131. (Bis.)

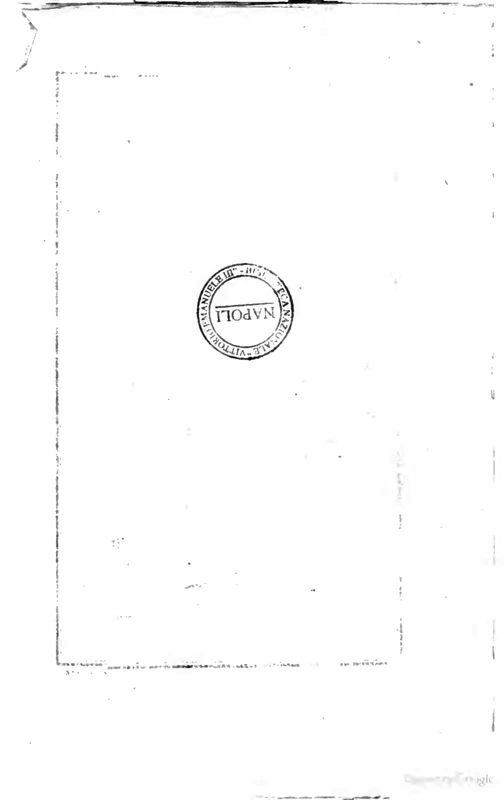
Fig. 131.

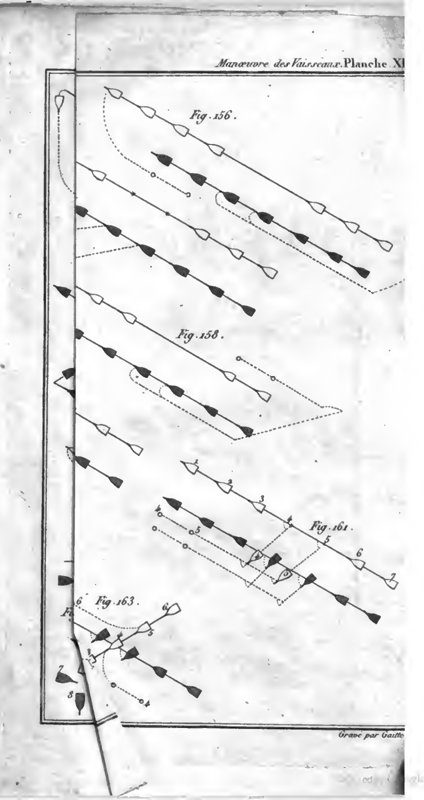
Gravé par Gautte.



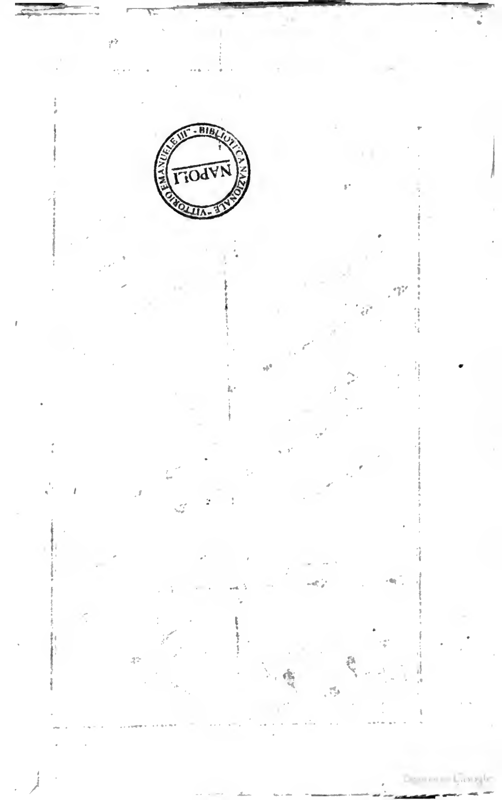



Gravé par Gaitte.


NAPOLI




Gravé par Gautte


BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

